

الجــزء الأول

The Electric TRANSFORMERS

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

الأستاذ الدكتور

محمد أحمد قمر



المحولات الكهربائية

الجزء الأول

دكتور مهندس

كاميليا يوسف محمد

مراجعة

الأستاذ الدكتور

محمد أحمد قمر

الطبعة الأولى	فى نوفمبر ١٩٩١
الطبعة الثانية	فى أغسطس ١٩٩٥
الطبعة الثالثة	فى يونيه ٢٠٠١
الطبعة الرابعة	مارس ٢٠٠٦

تصميم الغلاف :
م / أحمد طه هاشم

بسم الله الرحمن الرحيم

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

تقدمت صناعة المحولات وتطورت فى الآونة الاخيرة ، وتعددت أشكالها وتصميماتها بحيث تخدم الغرض الذى صنعت من أجله . وتعتبر المحولات احد المكونات الاساسية فى أية شبكة كهربية . وموضوعنا فى هذا الكتاب «المحولات الكهربائية» يدور حول المكونات الرئيسية للمحولات - طرق التبريد - مغير الجهد - الزيوت - الأعطال ... وقد تناول الكتاب كل ما يهم المهندسين والفنيين من العاملين بمجال الكهرباء بغرض التوسع فى معرفة أكثر عن المحولات .

لم أتطرق للحديث عن المحولات الجافة - المحول الذاتى - محولات القياس - تأثير التوافقيات - حسابات تيار القصر للمحول على أن يكون ذلك فى الجزء الثانى والمكمل لهذا الكتاب إن شاء الله .

وهذه محاولة متواضعة لإثراء المكتبة العربية بما يفيد الجيل الجديد من المهندسين والفنيين ، وبحثاً دائماً وراء الجديد لما يحدث حولنا من تطورات فى العالم لنساير الركب .

وأنه لمن دواعى السرور أن تكون توجيهات السيد المهندس / محمد ماهر أباظة وزير الكهرباء والطاقة وتصريحاته الدائمة عن البحث والدراسة مما شجعنى علي القيام بهذا العمل .

وقد كان تشجيع السيد المهندس/ أحمد مصطفى المفتى ، رئيس مجلس إدارة الشركة،الدائم للبحث العلمى وتوفيره المستمر لكل الإمكانيات دافعاً لتجميع المادة العلمية ، التى يستفيد منها زملائى المهندسين والفنيين .

ولا يسعنى فى هذا المقام إلا أن أتوجه بالشكر الى سيادته على تشجيعه الدائم للعلم لمسايرة التقدم ورفعة الشركة .

وقد قام بمراجعة الكتاب الاستاذ الدكتور/ محمد أحمد قمر الذى أضفى قيمة كبيرة على الكتاب ، وساعد فى إخراج الكتاب فى الصورة التى ظهر بها .

المحولات الكهربائية

وقد وافق السيد المهندس/ رئيس مجلس الادارة على طباعة هذا الكتاب علي نفقة الشركة ، فتكفلت دار الجامعيين للطباعة والنشر ، وقد قامت بجهد مشرف فى سبيل إخراج الكتاب على هذا النحو .

وفقنا الله جميعاً الى ما فيه خير بلدنا ، وأسأله تعالي أن ييسر بهذا العمل الفائدة المرجوة لخدمة المهندسين والفنيين بقطاع الكهرباء .

وصلى الله على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه وسلم

والله ولي التوفيق

الاسكندرية فى
٤ / ١١ / ١٩٩١

د. كاميليا يوسف

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة للتنويه

يعتبر المحول الكهربى جزءاً بالغ الأهمية ، والفائدة ، فى الدائرة الكهربية،ولولاه ما تحققت الاغراض الحيوية الاتية :

– نقل القدرة الكهربية بمقادير ضخمة لمسافات طويلة جداً ، من مواقع توليدها ، الى مساحات الاستفادة بها ، على جهود كهربية فائقة العلو (مئات الالوف من الڤولت وصلت إلى حد المليون فى بعض الحالات) ، بما يعمل على الحد من المفقودات الكهربية فى خطوط النقل ، وذلك بعد رفع جهد المولد ، الذى لايزال محدوداً ، بسبب الصعوبات التكنولوچية ، برغم نظريات التصميم المتطورة (لايزيد عن بضع عشرات الآلاف من الڤولت ، ولايكاد يصل إلى نصف المائة ألف أو يجاوزها فى بعض الاحيان) .

– توزيع القدرة الكهربية ، فى مساحات الاستفادة بها ، بالجهود المناسبة لاغراض استخدامها ، فى البيوت والمصانع ، وغيرها .

– المواءمة بين أى جهاز كهربى ، مهما كان الجهد الذى يعمل به . وينبوع التغذية الكهربى ، الذى يمتلك جهداً ، لا يمكن تغييره ، إلا باستخدام محول كهربى ، ذى مواصفات معينة ، حتى أننا يمكن أن نتصور ، أن معظم الاجهزة الكهربية ، يدخل فى بنيتها الاساسية محول كهربى ، للقيام بهذه المهمة ، مع ينابيع تغذية كهربية مختلفة الجهود .

والمحول الكهربى بسيط فى نظرياته ، سهل في استخداماته ، ومن المفروض أنه لا يكلف الدائرة الكهربية ، التى يدخل فى تركيبها ، سوى مفقودات كهربية قليلة ، إذ أن كل ما يقوم به ، هو عملية مواءمة بين أجزاء الدائرة المختلفة ، إساساً فى الجهود ، وذلك من خلال عملية تحويل الطاقة الكهربية من ملف الى آخر فى المحول ، عبر المجال المغناطيسى فى القلب الحديدى ، فهو جهاز بالغ العلو فى الكفاءة ، التى قد تتعدى ٩٩ ٪ من المحولات الكبيرة جداً . هذا ، وبينما نجد محولات كهربية بالغة الصغر ، لاتتعدى قدرتها جزءاً من الڤولت أمبير ، فى الاجهزة متناهية الصغر ، فقد تصل قدرة المحولات الكبيرة الى عشرات الالوف من الميجاڤولت أمبير ، فى المحولات الكبيرة التى تستخدم مع خطوط نقل القدرة الكهربية ، ومثل هذه المحولات تحتاج الى وسائل نقل خاصة عند نقلها من مكان الى مكان ، وهى غالباً ما تكون مزودة بعجلات تصلح لتبادلها بين بعضها فى المكان الواحد .

هذا ، وإن اهمية استخدامات المحول الكهربى فى دوائر الاتصالات الكهربية (التى توصف بأنها دوائر التيار الخفيف (Light Current Circuits) ، لاتقل عن اهمية استخداماته فى دوائر القوى الكهربية (وهى التى تعرف بأنها دوائر التيار الثقيل (Heavy Current Circuits). ولا شك ان كل ملفين مترابطين بمجال مغناطيسى (Linked By A Magnetic Flux) يمثلان محولاً كهربياً ، مهما بلغت قيمة الجزء من هذا المجال المتبادل (Mutual Flux) بينهما ، وذلك على حساب مدى تقاربهما ، وطبيعة المادة التى تحتويهما ، ويمكن للمجال المغناطيسى أن يتخذها مساراً له.وانما كل ما فى الامر ، أن نسبة تحويل الجهد والقدرة من ملف الى الآخر،تتوقف على مدى التشابك (Linkage) بينهما .

والحقيقة أن ما يعنينا فى هذا المقام ، هو تلك المحولات التى تستخدم فى دوائر القوى الكهربية . اذ ان معالجة النوع الآخر من المحولات ، يحتاج الى طريقة مختلفة فى العرض والتحليل ، وان اهم ماأحب أن أنوه عنه فى هذه المقدمة ، التى وصفتها بأنها للتنويه ، أن هناك نوعين من المحولات التى تستخدم فى دوائر القوى الكهربية ، يتم التمييز بينهما ، منذ الوهلة الاولى ، فى تصميم كل منهما ، وهما ما يطلق عليه اسم محولات القوى (Power Transformer)، ومحولات التوزيع (Distribution Transformers) وكما يستدل عليه من التسمية ، فان النوع الاول هو تلك المحولات ، التى يعمل الواحد منها مع المولد فى المحطة ، كوحدة واحدة لتغذية خط النقل بالقدرة الكهربية ، التى يعطيها المولد ، عند الجهد العالى اللازم لنقل القدرة بأعلى كفاءة ممكنة ، ومثل هذا المحول يراعى عند تصميمه ان تكون مفقودات الحديد فيه حوالى ٧٥ ٪ من مفقودات النحاس عندالحمل الكامل ، مما يؤهله لأن يعمل بالقيمة القصوى للكفاءة عند حوالى من ٨٥ ٪ الى ٩٠ ٪ من الحمل الكلى ، أما النوع الثانى وهو محولات التوزيع ، فانه يراعى عند تصميمها ، ان تكون مفقودات الحديد حوالى ٢٥ ٪ من مفقودات النحاس عند الحمل الكامل ، وفى هذه الحالة ، فان ما يؤخذ فى الاعتبار ، ليس هو موضع القيمة القصوى للكفاءة بالنسبة للحمل الكامل ، وانما يراعى خفض قيمة مفقودات الحديد قدر الامكان ، حتى نحصل على كفاءة يومية (All Day Or Daily Efficiency) مناسبة لان توفر لنا دفع ثمن اقل فى الطاقة المبددة فى المفقودات ، مما يقلل من ثمن تكاليف تشغيل المحول ، وسوف يراعى شرح ذلك بالمثال فى احد فصول الكتاب .

ولاشك ان هذا الكتاب ، هو محاولة طيبة ، لتقديم العون المفيد ، بالمعلومات الاساسية ، اللازمة لتشغيل وصيانة محولات القوى والتوزيع ، التى تعتبر من الاجزاء الرئيسية فى شبكة الكهرباء بمدينة الاسكندرية ، وتدخل فى اختصاص شركة توزيع كهرباء الاسكندرية ، التى رأت أن تضعه بين أيدى المهندسين والفنيين المختصين ، من العاملين بها ، والعاملين بشركات توزيع الكهرباء الاخرى . نسأل الله تعالى ان يجدوا فيه الفائدة المرجوة ، وان يعين المسئولين بهذه الشركة ، وعلى رأسهم السيد المهندس رئيس مجلس الادارة ، على مواصلة هذا المجهود العلمى المستنير ، الذى درجوا على نهجه ، وكان آخر ماوصل الينا منه هو كتاب المكثفات وتحسين معامل القدرة ، الذى تمت طباعته وتوزيعه منذ شهور قليلة ، والله ولى التوفيق .

الاسكندرية فى

١ / ١١ / ١٩٩١

دكتور محمد احمد قمر

استاذ بكلية الهندسة بجامعة الاسكندرية

وعضو مجلس ادارة شركة توزيع كهرباء اسكندرية

الباب الاول

١-١ نبذة عن تاريخ انتاج المحولات

فى عام ١٨٩٠ تم تسجيل براءة اختراع أول محول ثلاثى الأوجه فى السويد وانجلترا . وكانت قدرته ٢٠٠ كيلو وات – ٩٥٠٠ فولت ، وقد تم عن طريقه رفع الجهد ونقل الطاقة خلال خط بطول ١٠ كم . وتم تشغيله عام ١٨٩٣ شكل (١ – ١) يبين هذا المحول . فى عام ١٨٩١ تم تصنيع محول ثلاثى الأوجه وكانت قدرته ١٠٠ ك . ف . أ وجهد ١٥ / ٠,٠٥٥ ك . ف واستخدم لنقل الطاقة بين لوفين وفرانكفورت .

من عام ١٩٠٠ الى ١٩١٠ حدثت توسعات فى صناعة المحولات نتيجة التقدم الكبير فى تكنولوجيا المواد ، وقد توصل العلماء الى صناعة صلب كهربى سليكونى وكذلك التوصل الى استخدام الزيت المعدنى كعازل وكوسط للتبريد .

فى حوالى عام ١٩٠٨ تمت صناعة محول ٣ و ٥ م . ف . أ – ٤٠ ك . ف .

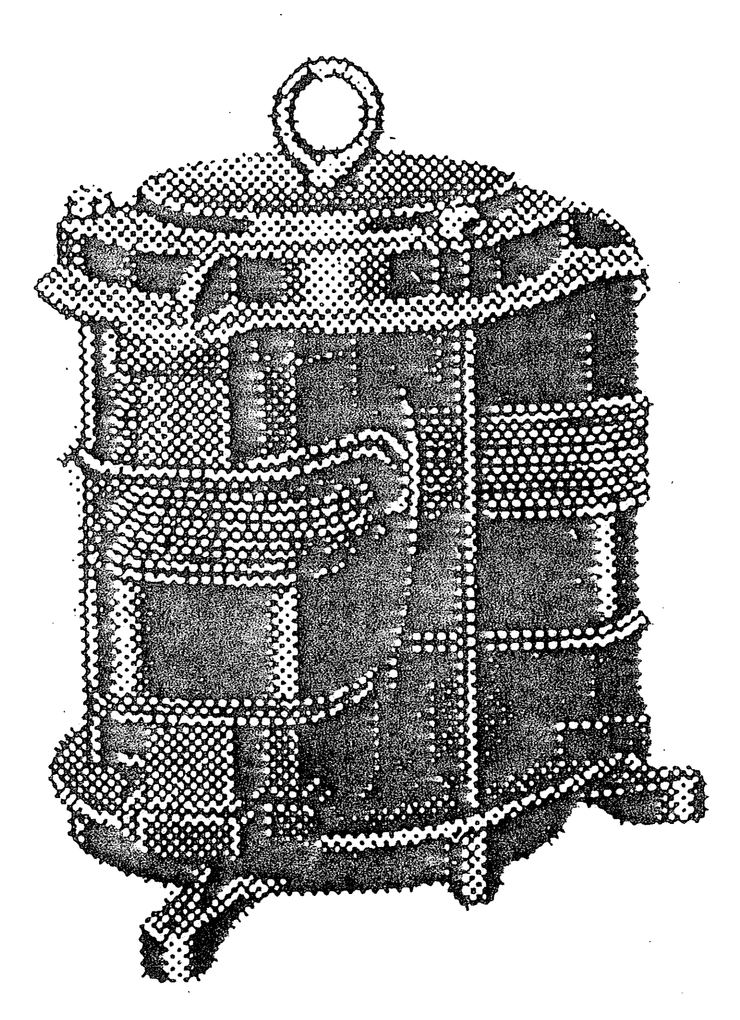
فى عام ١٩١٠ تم تصنيع أول محول ثلاثى الأوجه فى ألمانيا وكانت قدرته ٦ و ٨ م . ف . أ وجهد ١١٠ / ٥ و ٥ ك . ف . أما عن محولات الرفع ذات القدرات والجهود المتوسطة فقد قامت إحدى الشركات بصناعة محول رفع ذي قدرة ١٠ م . ف . أ وجهد ٦ / ٥٠ ك . ف ، وتم استخدام هذا النوع لمحطات التوليد، كما اعتبرت هذه القدرات كبيرة جداً بالنسبة لتصميم محول ثلاثى الأوجه .

حدث عجز فى المواد المستخدمة لتصنيع المحولات نتيجة نشوب الحرب العالمية الأولى ، أثرت فى الحد من التوسع وتقدم صناعة المحولات ، كذلك أثيرت أزمة كهربة الريف ، فى العالم ، ولحلها تم إنتاج حوالى ٦٧٠٠ محول توزيع قدرة كل محول ٢٨ ك . ف . أ وكان ذلك حوالى عام ١٩١٨ .

فى عام ١٩٢٣ بدأ فى تصنيع محول ٣٠ م.ف.أ – ١١٠ ك.ف .

بوصول عام ١٩٣٠ كانت قد وضعت أساسيات تصميم محولات القدرة الكبيرة ، وذات القدرات والجهود العالية ، والتى استمرت حتى الآن .

وقد صاحب تصنيع المحولات الكبيرة مشكلات عديدة أهمها الحصول على قلب (*core*) للمحول موثوقاً به بالكامل . ففى حوالى عام ١٩٢٠ أمكن لصناع



شكل (١ - ١)

ومصممى المحولات الوصول الى حل مشاكل القلب ، وأمكن الاستمرار قدماً فى صناعة محولات القدرة الكبيرة ، ولكن معدلات الحصول على قدرات كبيرة للمحولات كانت تسير ببطء ، فحتى عام ١٩٢٥ كانت ٢٠ م . ف . أ هى أقصى قدرة أمكن الوصول اليها . بينما لم يتمكن مصنعو المحولات من الوصول الى قدرة ٣٠ م . ف . أ حتى عام ١٩٢٨ . ثم بدأ فى تصنيع محول ثلاثى الأوجه قدرته ٦٠ م . ف . أ وجهد ٢٢٠ / ١١٠ ك . ف .

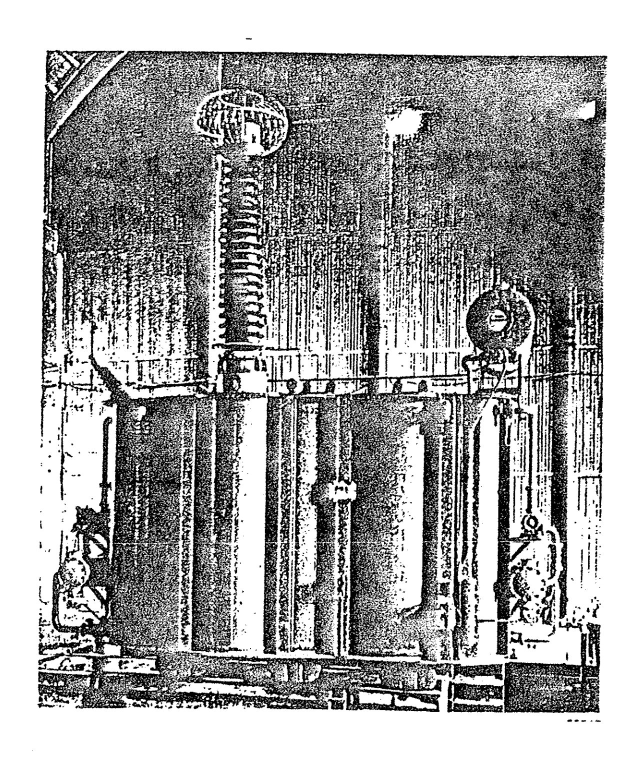
فى بداية الثلاثينيات تم تصنيع محولات قدرة ٥٠ م.ف.أ - ١٣٠ ك.ف.ثم بدأت صناعة محولات الجهد المرتفع ٢٢٠ ك .ف ، والتى تمت صناعتها وتشغيلها عام ١٩٣٦ ، وكانت بقدرة ٣٥ م . ف . أ .

ثم ارتفعت قدرة المحولات الى ١٢٠ م . ف . أ .

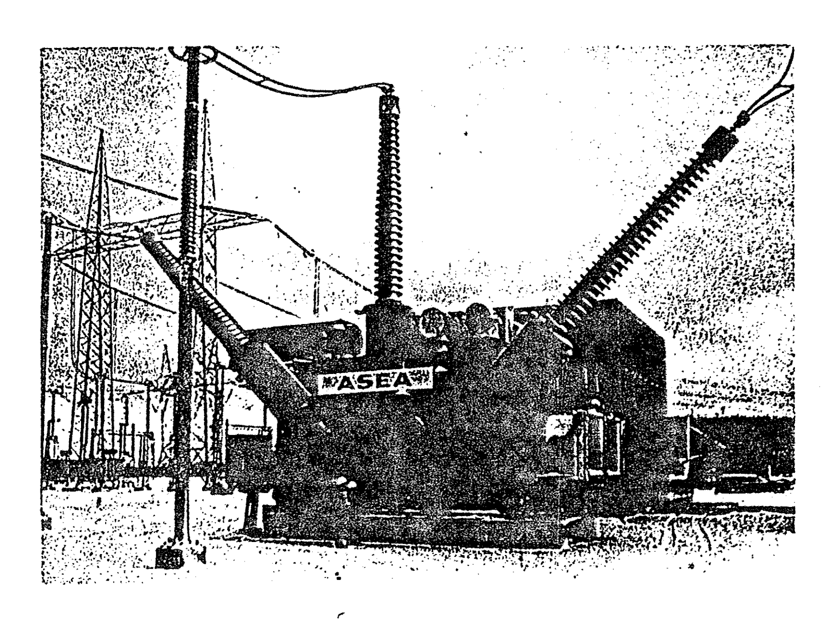
فى عام ١٩٥٢ تم تصنيع أكبر محول قدرة ثلاثة أوجه ـ ثلاثة ملفات بقدرة ١٣٣ م . ف . أ وبجهد ٢٢٠ ك . ف .

ظهرت فى عام ١٩٤٦ محاولة تصنيع محولات للجهود الفائقة ، اكبر من ٢٢٠ ك . ف ، وظهر هذا فى التعاون بين شركة (*ASEA*) ومجلس القوى الكهربائية السويدى وتم تصنيع محول بقدرة ١١٥ م . ف . أ وجهد ٤٠٠ ك . ف - شكل (٢ - ١) - وكان ذلك حوالى عام ١٩٥٢ . وقد ادخلت بعض التعديلات حيث استخدمت ملفات على شكل قرص وملفات من النوع اللولبى ، التى تمتلك استقرارا ميكانيكيا . وكانت جميع الملفات بدون نقط تقسيم (لتنظيم الجهد) ، ولكنها احتوت على مجموعة منظمات منفصلة . حيث وصلت اطراف النهايات ، ٤٠٠ ك . ف ، فى منتصف الملفات على كل ساق (*Limb*) . وقد كان كل ملف يتكون من مجموعتين على التوازى ملفوفتين على الساق ، وذلك لتقليل الجهد فى اتجاه الفك (*Yoke*) . مع اختبار درجة العزل (*BIL*) ، عند ١٧٧٥ ك .ف .

فى حوالى عام ١٩٥٩ تم تصنيع أول محول فى العالم بالسويد بقدرة ١٠٠٠ م . ف . ا وجهد ٤٠٠ ك . ف - أحادى الوجه - بعدها تم تصنيع محولات ثلاثية الاوجه - ذات ثلاثة ملفات - ١٠٠٠ م . ف . ا وجهد ٤٠٠/٢٢٠/١٨٠ ك . ف . .



شكل (٢ - ١)



شكل (٣ - ١)

فى اوائل الستينات بدأ التفكير فى تصنيع محولات ذات جهد ٥٠٠ ك . ف . والتفكير فى كيفية تقليل وزن المحول بقدر الامكان مع الاحتفاظ بجميع الخصائص الهامة .

وعلى ذلك ففى عام ١٩٦٧ تم تصنيع اول محول ٤٠٠ م . ف . أ بجهد ٥٠٠ ك . ف . احادى الوجه وذلك باستخدام قلب ذى ثلاثة سيقان ملفوفة - بعدها تم تصنيع محول بنفس المواصفات ولكن القلب بساقين ملفوفين فانخفض وزن المحول حوالى ٢٠ ٪ ثم تمكن العلماء من تصنيع نفس المحول باستخدام ساق احادى ملفوف مما ادى الى تخفيض الوزن ، وكذلك المفقودات .

وفى كندا تم تشغيل اول محول ٧٠٠ ك . ف سنة ١٩٦٥ وتم اختباره حتى ٢١٥٠ ك . ف . فى المانيا تم انشاء محول ذاتى أحادى الوجه قدرته ٦٠٠ م . ف . أ بجهد ٧٣٥ ك . ف وذلك عام ١٩٦٨ .

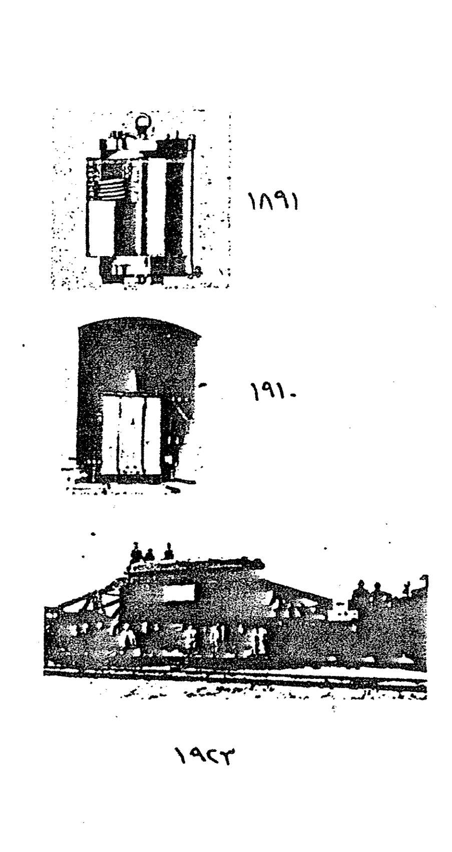
خلال صيف ١٩٧١ تم الانتهاء من تصنيع اول محول ذاتى - أحادى الوجه - بجهد ١٥٠٠/٧٦٥/٤٢٠ ك . ف وبقدرة ٣٣٣ م . ف . أ وتم استخدامه لاختبارات الجهد العالى للمعدات الكهربائية .

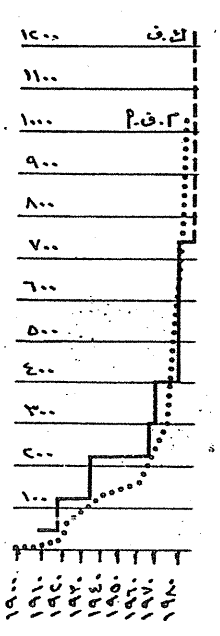
فى حوالى عام ١٩٧٤ تم تصنيع اول واكبر محول لمحطة توليد نووية بالمانيا بقدرة ١٠٢٠ م . ف . أ وجهد ٢٧/٤١٥ ك . ف .

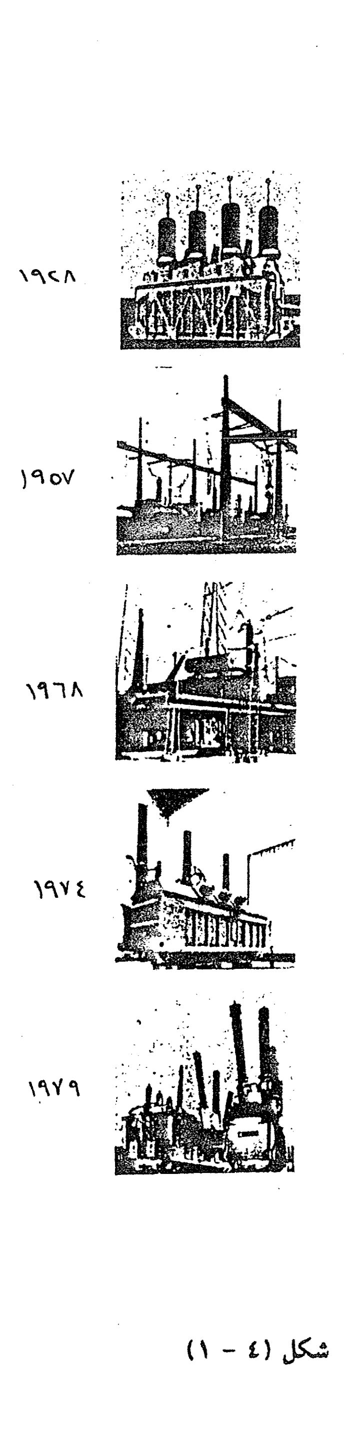
فى عام ١٩٧٧ تم تصنيع اول محول ثلاثى الاوجه بقدرة ٢٥٠ م . ف . ا بجهد ٧٣٥ ك . ف - شكل (٣ - ١) يوضح هذا المحول - وهو صناعة شركة (ASEA) .

شكل (٤ - ١) يوضح بعض انواع المحولات منذ عام ١٨٩١ وحتى عام ١٩٧٩ . وكذلك معدل التغيير فى الجهد والقدرة حتى عام ١٩٨٠ .

وما زال العلم يتقدم حتى الآن بخطى واسعة فى عالم تصنيع المحولات والتى تأتى ثمارها فى كل حين .


١٨٩١
١٩١٠
١٩٢٣


ك.ف
١٢٠٠
١١٠٠
١٠٠٠
٩٠٠
٨٠٠
٧٠٠
٦٠٠
٥٠٠
٤٠٠
٣٠٠
٢٠٠
١٠٠


١٩٢٨
١٩٥٧
١٩٦٨
١٩٧٤
١٩٧٩

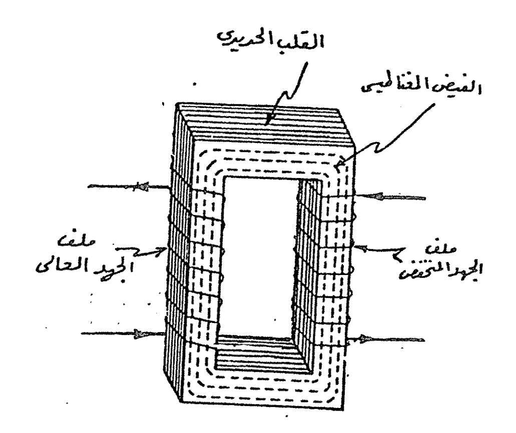
شكل (٤ - ١)

٢-١ التعريف بالمحول *Information About The Transformer*

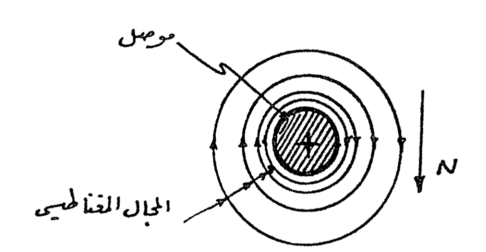
يعرف المحول بانه معدة كهربائية تستخدم لخفض أو رفع الجهد الكهربى لمقدار معين من القدرة الكهربائية . يتكون المحول ببساطة من دائرتين كهربائيتين متداخلتين عن طريق دائرة مغناطيسية . احدى هاتين الدائرتين هى ملف الجهد العالى ، والأخرى هى ملف الجهد المنخفض ، أما الدائرة المغناطيسية فهى عبارة عن القلب الحديدى . ملف الجهد العالى (أو الملف الابتدائى) *(High Votlage or Primary Winding)* يستقبل القدرة الكهربية *(Electrical Power)* والتى يطلق عليها اسم قدرة المدخل (*Input Power*) بينما ملف الجهد المنخفض (أو الملف الثانوى) *or (Low Voltage Winding secondary Winding)* تتدفق من خلاله القدرة الكهربية ، والتى يطلق عليها اسم قدرة المخرج (*Output Power*) ويعتبر المحول معدة ذات كفاءة عالية جداء حيث يمكن الحصول على قدرة مخرج تكاد تكون مساوية لقدرة المدخل (اذا امكن الوصول مثلا بمفقودات الحديد والنحاس الى ١ ٪) .

شكل (٥-١) يوضح شكلا مبسطا لمحول يتكون من ملف الجهد العالى وملف الجهد المنخفض والقلب الحديدى .

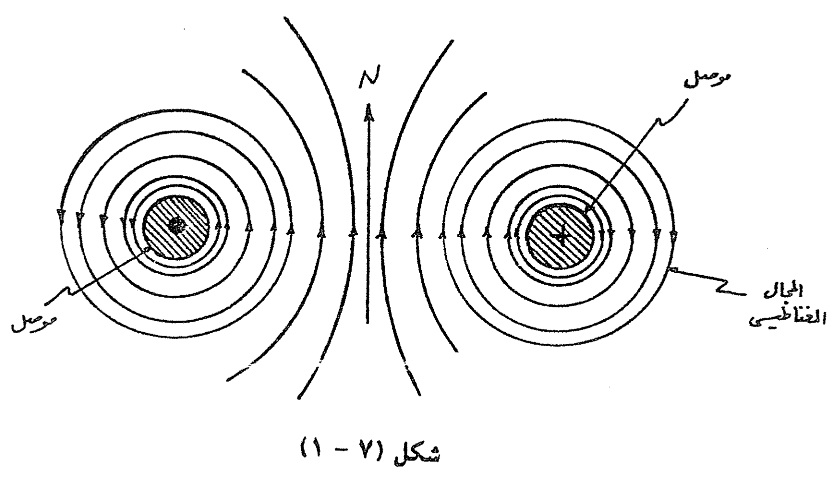
فى حوالى عام ١٨١٩ اكتشف لاول مرة انه عند مرور تيار فى موصل نحاس يتولد مجال مغناطيسى فى الحيز المحيط بالموصل . وكانت هذه بداية علم الهندسة الكهربائية ، ثم كانت منطلقا لتفهم العلاقة بين اتجاه التيار فى موصل وقيمة واتجاه المجال المغناطيسى الناتج وفى شكل (٦ - ١) تتضح العلاقة بين التيار والمجال المغناطيسى ، حيث تمثل الدائرة الداخلية مقطع فى الموصل (أى متعامد على الصفحة) ويكون اتجاه التيار فى الموصل كما لو كان داخلاً للدائرة . ويمكن تمثيل المجال المغناطيسى الناتج بالدوائر المحيطة بالموصل وفى اتجاه عقارب الساعة . بينما شكل (٧ - ١) يمثل موصلين هما الدائرتين الداخليتين (الموصلان متعامدان على الصفحة) ، الموصل اليمين يمر به تيار فى اتجاه داخل الى الموصل ، بينما الموصل الايسر يمر به تيار فى اتجاه خارج من الموصل . وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى ، ينتج مجال مغناطيسى حول موصل



شكل (٥ - ١)



شكل (٦ - ١)



شكل (٧ - ١)

ويكون المجال بين الموصلين فى نفس الاتجاه . أى ان الفيض بين الموصلين هو محصلة مجموع الفيض الناتج عن التيار المار بالموصلين وبالتالى تزداد كثافة الفيض بينهما .

عند مرور تيار كهربى فى موصل أو ملف ينتج عنه مجالا مغناطيسيا مسببا قوة دافعة مغناطيسية (*Magnetomotive Force " m . m . f "*) تدفع بمرور الفيض المغناطيسى (*Flux*) فى دائرة مغناطيسية مقفلة ، كما تدفع القوة الدافعة الكهربية التيار الكهربى فى مسار مقفل ، وحدة قياس القوة الدافعة المغناطيسية هى جلبرت (*Gilbert*) فى مجموعة الوحدات العلمية *(C . G . S . Units)* ، وتكون خطوط القوى دائما على شكل دوائر مغلقة وتتحرك فى مسار يعرف بالدائرة المغناطيسية (*Magnetic Circuit*) . يمثل المجال المغناطيسى بخطوط القوى ، ومجموعة خـــطوط القـوى تســمى بالفيـض المغنـاطيســى (*Magnetic Flux*) ووحداته هى الويبر (*Weber*) في مجموعة الوحدات العملية (*M . K . S Units*) ، ويدفع هذا المجال ، المقاس بالويبر ، ويرمز له بالرمز Φ ، فى الدائرة المغناطيسيـة المغلقة ، القوة الدافعة المغناطيسية ، التى يرمز لها بالرمز (*m . m . f*) ، والتـى تقاس بالامبير لفـات *NI* (*Ampere - Turns*) للملف المؤثر ، الذى عدد لفاتــه *N* ، ويمر فيــه التيار *I* ، وهذه القيمة مقاسة بالوحدات العملية المنسقة *(Rationalized M . K . S of Units)* . وكما هو الحال فى الدائرة الكهربية ، فان العلاقة بين القوة الدافعة المغناطيسية (*m .m .f*) والمجال المغناطيسى (Φ) تكون باستخدام المقاومة المغناطيسية (*Reluctance*) للدائرة المغناطيسية ، التى يرمز لها بالرمز (R_e) ، كما هو الحال فى قانون أوم للدائرة الكهربية حيث :

$$I = \frac{e.m.f}{R} \quad \text{تناظر} \quad \phi = \frac{m.m.f}{R_e}$$

وتحصل على قيمة (R_e) للدائرة المغناطيسية ، بدلالة متوسط طول المسار المقفل لخطوط القوى المغناطيسية (*L*) بالمتر ، ومساحة مقطع القلب الحديدى (*A*) متر مربع ، الذى تخترقه هذه الخطوط فى اتجاه عمودى على المقطع ،

ومعامل النفاذ النسبي لمادة الحديد μ_r ، ومعامل نفاذ الفراغ المطلق μ_o ، الذى يساوى ($4 \pi * 10^{-7}$) ، فى حالة مجموعة الوحدات العملية المنسقة التى نستخدمها ، بحيث تكون

$$R_e = \frac{L}{\mu_o \mu_r A}$$

وتكون كثافة الفيض المغناطيسى فى القلب الحديدى (B) ، مقاسة بالويبر لكل متر مربع ، فى هذه الحالة عبارة عن

$$B = \frac{\Phi}{A}$$

كما ان معدل انحدار الجهد المغناطيسى على طول المسار (H) ، الذى يقاس فى هذه الحالة بالامبير لفات لكل متر عبارة عن :

$$H = \frac{m.m.f}{L} = \frac{NI}{L}$$

ويمكن مما سبق الحصول على العلاقة بين B , H فى الدائرة المغناطيسية ، على النحو التالى :

$$\frac{B}{H} = \frac{\Phi}{A} * \frac{L}{NI} = \frac{NI}{L/\mu_o\mu_r A} * \frac{1}{A} * \frac{L}{NI}$$

$$= \mu_o \mu_r$$

ويجب ملاحظة ان قيمة μ_o تتوقف على نظام الوحدات (System of Units) المستخدم ، وقد ذكرنا انه فى حالة الوحدات العملية المنسقة فان μ_o تساوى ($4\pi \cdot 10^{-7}$) ولكى يتيسر التحويل من نظام وحدات عملية الى الوحدات العلمية (C . G . S Units) قد يكون من المفيد ان نذكر ان الويبر

يساوى ١٠ ^٨ خط ، وأن الجاوس هو مقياس كثافة الخطوط المغناطيسية بالخط لكل سم٢ .

يمكن ايجاد اتجاه خطوط القوى المغناطيسية باستخدام بوصلة صغيرة ، حيث تشير النهاية N دائماً الى اتجاه هذه الخطوط [كما فى شكلى (٦ - ١) ، (٧ - ١)] . فى شكل (٨ - ١) تم وضع موصل فى مركز قطعة من الورق نثر عليها بعض برادة الحديد . عند مرور تيار بالموصل تتوزع البرادة على شكل دوائر مركزية ، أى يمثل الشكل خطوط قوى مغناطيسية فى دائرة مقفلة حول الموصل الذى مر به تيار كهربى ، يلاحظ أن كمية الفيض ، فى كل مسار ، تقل بينما طول المسار يزيد ، أى أن كثافة الفيض تكون قوية بالقرب من الموصل وتضعف كلما بعدت عنه .

من الأهمية ملاحظة أن جميع المواد ليست لها خاصية التوصيل المغناطيسى، والتى تعرف أيضاً بالنفاذ المغناطيسى *(Magnetic Conductivity or Permeability)* وهى قابلية المادة لتمرير الخطوط المغناطيسية ، فمثلاً الهواء يعتبر وسطاً غير جيد لتمرير الخطوط المغناطيسية ، وكذلك النحاس والزنك ، بينما الحديد يعتبر وسطاً جيداً لتوصيل المجال المغناطيسى أى لتمرير خطوط القوى المغناطيسية . يتضح من التجربة السابقة ميزة استخدام الحديد عن الهواء كوسط لتمرير خطوط القوى المغناطيسية ، فان استخدام ملف مكون من عدد من اللفات ويمر به تيار معين ، مع استخدام قلب حديدى بدلاً من الهواء يجعل عدد خطوط القوى المغناطيسية قد تزداد الى أكثر من ٢٠٠٠ مرة . تقاس مدى كفاءة مادة معينة لتمرير خطوط القوى المغناطيسية بمعامل النفاذ المغناطيسى النسبى *(Relative Permeability)* وتعتمد قيمة هذا المعامل على نوع الحديد المستخدم ، وكلما كان الحديد نقى ولين كلما كان المعامل كبير ، وهو النوع المفضل فى استخدام قلب المحول .

وتكون قيمة معامل النفاذ :

$$\mu = \frac{B}{H} = \mu_r \mu_o$$

حيث :

B = كثافة الفيض

H = شدة المجال المغناطيسى أو معدل انحدار الجهد المغناطيسى

μ_r = معامل النفاذ النسبى للمادة

μ_o = معامل النفاذ للفراغ المطلق

كما سبق بيانه ، وتتوقف الوحدات على حسب نظام الوحدات المستخدم .

الاستبقاء ***Retentivity***

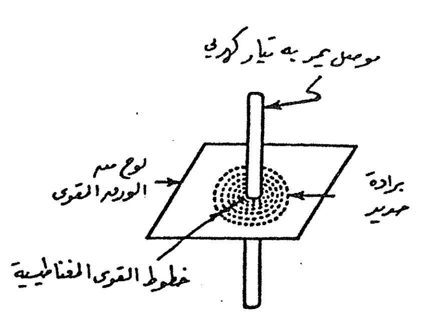
يعتبر الاستبقاء من الخصائص الهامة للحديد ، فعند قطع مصدر التيار عن الملف الملفوف على القلب الحديدى ، تبقى كمية من خطوط القوى المغناطيسية بالقلب الحديدى ، وكلما كان الحديد أكثر صلابة كلما زادت كمية الخطوط المغناطيسية المتبقاه . فاذا استخدم صلب شديد الصلابه (*Hard Steel*) بدلاً من الحديد اللين (*Soft Iron*) فان عدداً كبيراً من الخطوط المغناطيسية تبقى بالقلب . بذلك يصبح الحديد الصلب فى هذه الحالة ذا مغناطيسية متبقاه ، وهذا هو تعريف الاستبقاء . وعلى ذلك تكون قيم الاستبقاء الكبيره غير مرغوبه فى المحولات ، ويفضل استخدام حديد لين للقلب .

ظاهرة التأثير المغناطيسى أو الحث المغناطيسى

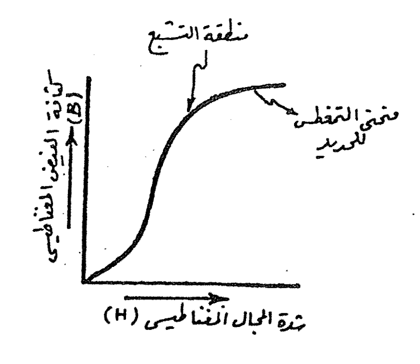
Magnetic Induction

عند مرور تيار كهربائى فى ملف ملفوف فى الهواء ، أو على قلب حديد أو صلب تنتج خطوط قوى مغناطيسية حول الملف ، ويكون التأثير المغناطيسى لهذه الخطوط على اى موصل كهربى يتشابك معها هو ما يعرف بظاهرة الحث المغناطيسى أو الحث باختصار .

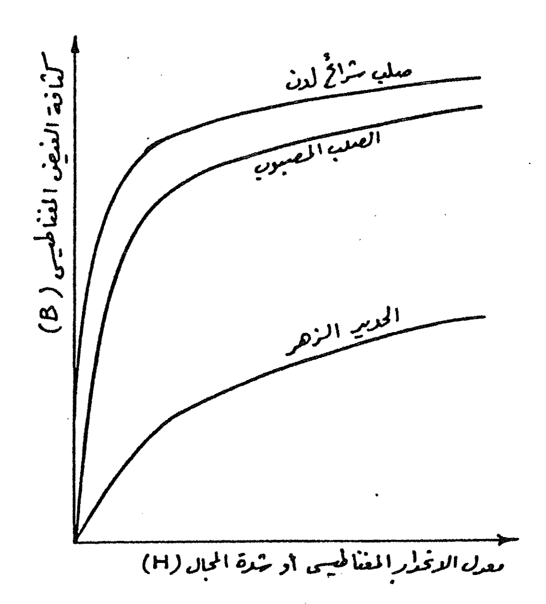
ويكون حاصل ضرب التيار المار فى عدد لفات الملف هو مقياس القوه الدافعه المغناطيسية (*Magnetomotive Force*) ويتناسب عدد خطوط القوى المغناطيسية الناتجة فى الدائره المغناطيسية مباشرة مع عدد الامبير - لفات



شكل (٨ - ١)



شكل (٩ - ١)



شكل (١٠ - ١)

الملف .

تجب ملاحظة أنه فى منطقة معينـة يحدث ما يسمى بالتشبع (Saturation Region) فى الدائرة المغناطيسية . والعلاقة بين كثافة الفيض (B) وشـدة المجـال المغناطيسى (H) أو معـدل انحـدار الجهـد المغناطيسى ($H = NI/l$) ، لمادة مغناطيسية معينة يعرف بمنحنى المغنطة . شكل (٩-١) يوضح الشكل العام لمنحنى المغنطة وواضح فيه منطقة التشبع، والتى مهما زادت شدة المجال المغناطيسى فى أثنائها ، فان قيمة كثافة الفيض المغناطيسى تزداد زيادة طفيفة ، مما يعتبر معه أن قيمة الفيض تظل ثابته على وجه التقريب فى هذه المنطقة ، ويوضح شكل (١٠-١) منحنيات مغنطة لمواد مغناطيسية مختلفة مثل الحديد الزهر (Cast Iron) ، الصلب المصبوب (Cast Steel) ، صلب شرائح لدن (Annealed Sheet Steel) ، تعتمد قيمة شدة المجال المغناطيسى (H) على الطريقة التى يصنع بها القلب ، حيث تراعى نسب المركبات الكيميائية الداخله فى تصنيع المادة ، لأن اى تغيير طفيف فى هذه المركبات يؤثر بدرجة كبيرة على الخواص المغناطيسية للمادة ، وبالتالى على شكل منحنى المغنطة لها .

سبق أن ذكرنا أنه نتيجة مرور تيار فى ملف يحدث تأثير مغناطيسى حول هذا الملف ناشىء عن خطوط القوى المغناطيسية ، أو أن نتيجة مرور التيار فى ملف ينشأ فيض مغناطيسى حوله .

ونذكر الآن كيف ينتج التيار الكهربى مصاحباً لنشوء المجال المغناطيسى . فى شكل (١١-١) (أب) عبارة عن موصل يمكن أن يتحرك الى الامام أو الى الخلف على طول دائرة مغناطيسية (جـ ء هـ و) خلال خطوط قوى مغناطيسية متجهة الى أسفل . اذا فرضنا أن الموصل تـم تحريكـه الى اليمين ، فانـه تبعـاً لقاعدة اليد اليمنى للتأثير المغناطيسى ، سـوف ينتج فـرق جهـد بين طرفيه (أ ، ب) ، ويتم مرور تيار فى الموصل خلال الدائره المغلقة (أ ب هـ ء) ، فى عكس اتجاه دوران عقارب الساعة،أى أنه لكى يحدث فرق جهد كهربى بين طرفى الموصل (أ ب) ، يجب أن تتوافر حركة نسبية بين الموصل ، أو الدائره الكهربية ، وبين المجال المغناطيسى .

طريقة عمل المحول

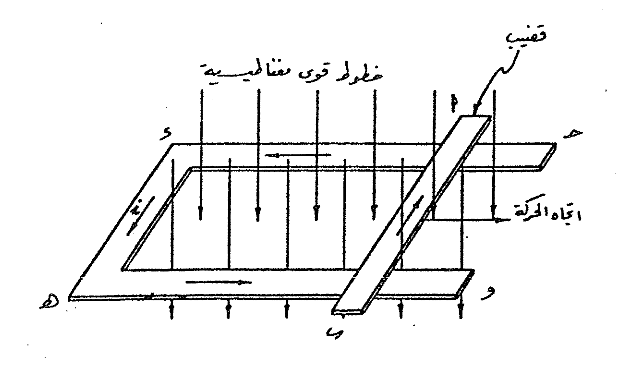
لفهم طريقة عمل المحول المثالى ببساطة يمكن الرجوع الى شكل (١٢-١) ، الذى يمثل قلب من الحديد اللين (NS) ملفوف عليه ملف (P) يمر به تيار (I) فى اتجاه دوران عقارب الساعة نتيجة تسليط مصدر كهربى لتيار مستمر (E) على طرفى الملف . يؤدى ذلك الى جعل القلب الحديدى مغناطيسياً له القطب العلوى عباره عن (S) ، بينما تكون خطوط القوى المغناطيسية الناشئة عن الملف متجهة الى اسفل كما فى الشكل . نفرض وجود دائرة توصيل كهربى مغلقة (أ ب جـ ء) موضوعة أعلى القلب ، حيث يمر عدد معين من الخطوط المغناطيسية خلالها .

جميع مكونات التجربة تكون فى حالة استقرار وبالتالى فان قيمة التيار (I) لاتتغير ، وعلى ذلك لايمر اى تيار فى الدائره (أ ب جـ ء) . نفرض فتح مصدر الكهرباء (E) ، كما فى شكل (١٣-١) فيصبح تيار المغنطة فى الملف (P) يساوى صفراً .

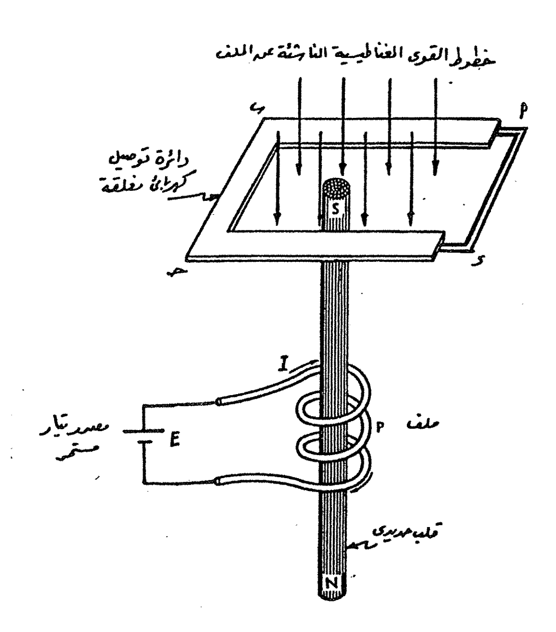
تضمحل الخطوط المغناطيسية التى تقطع الدائرة (أ ب جـ ء) بسرعة كبيرة جداً ، محدثة مرور تيار فى الدائره (أ ب جـ ء) فى اتجاه دوران عقارب الساعة(i) .

يلاحظ ان التيار (i) الناتج فى الدائرة (أ ب جـ ء) يكون فى نفس اتجاه التيار بالملف (P) وعلى ذلك يعرف الملف (P) بالملف الابتدائى للمحول ، وتعرف الدائرة (أ ب جـ ء) بالملف الثانوى للمحول والملفين متصلين من خلال دائرة مغناطيسية عباره عن القلب الحديدى الذى يمر به خطوط القوى المغناطيسية التى تتشابك مع الملف الابتدائى ، وكذلك مع الملف الثانوى ، وإذا تم توصيل مصدر الكهرباء (E) مرة اخرى ، فان التيار (I) فى الملف (P) يزداد ، وبالتالى تزداد عدد الخطوط المغناطيسية المتشابكة مع الدائرة (أ ب جـ ء) ، ويمر تيار فى اتجاه عكس اتجاه دوران عقارب الساعة فى دائرة الملف الثانوى المغلقة (أ ب جـ ء) .

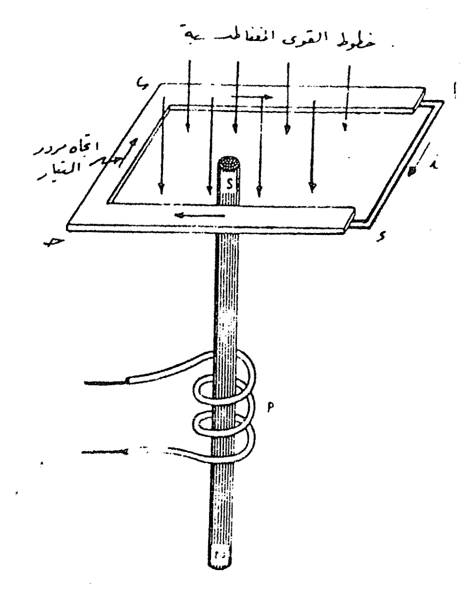
والحقيقة ان نتيجة مرور التيار فى الملف الابتدائى فان خطوط القوى الناتجة لاتتشابك جميعها مع الملف الثانوى بل يتسرب جزء من هذه الخطوط يطلق عليها



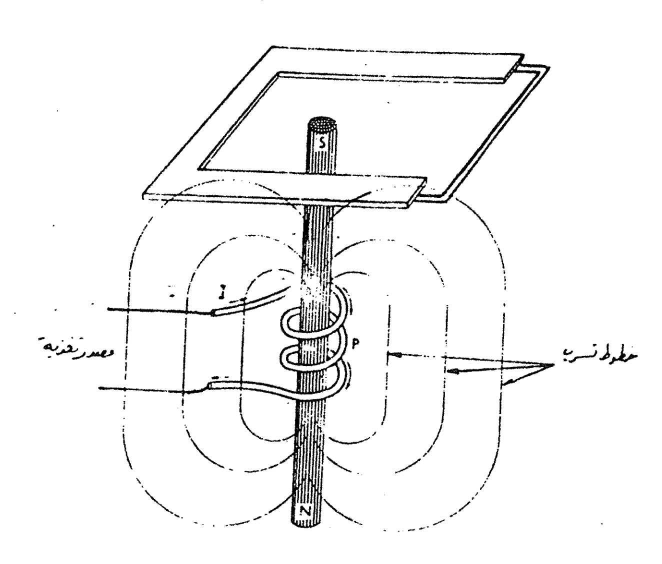
شكل (١١ - ١)



شكل (١٢ - ١)



شكل (١٣ - ١)

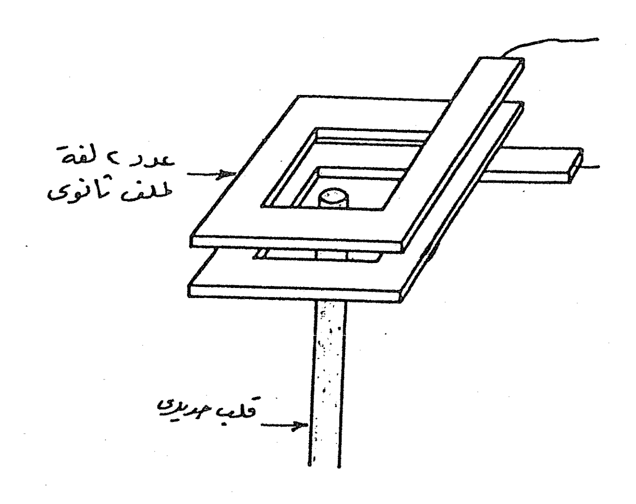


شكل (١٤ - ١)

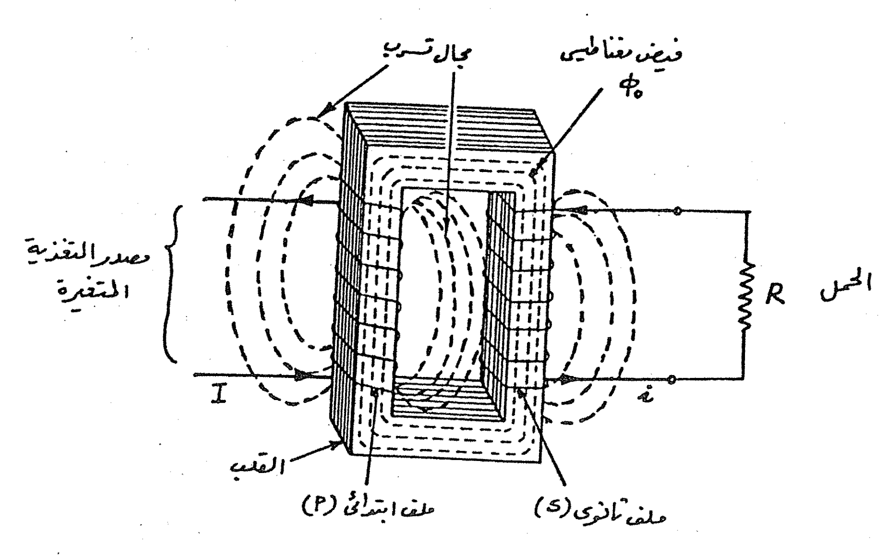
اسم خطوط التسرب (*Leakage lines*) . شكل (١٤-١) يوضح خطوط التسرب نتيجة مرور تيار بالملف الابتدائي ، وكلما زاد عدد خطوط التسرب كلما انخفضت كفاءة المحول . لهذا الغرض يفضل أن يكون القلب الحديدي شكل مستمر وكامل ، بحيث لا يوجد اي نقط توصيل في القلب حتى لا تعوق مسار خطوط القوى ، وافضل الاشكال للقلب ، من حيث الحفاظ على تشابك خطوط القوى مع الملفين معاً ، هو الشكل الدائرى المغلق ، ولكن من عيوب هذا الشكل انه يحتاج الى دقة عالية جداً في التصنيع والانشاء .

تتوقف قيمة الجهد المتولد في الملف الثانوى على عدد لفاته فاذا تم استخدام لفتين فان الجهد يتضاعف ، وهكذا كلما زاد عدد اللفات . شكل (١٥-١) يوضح عدد ٢ لفه للملف الثانوى .

ويكون الشكل العام للمكونات الاساسية للمحول ، كما في شكل (١٦-١) وفيه الملف الذى يتم توصيله بمصدر الجهد والتيار المتغير ، وهو ما يسمى بالملف الابتدائي (أو ملف الجهد العالي مثلاً) ، والملف الذى يحول هذا التيار والجهد المتغير الى الحمل ، وهو ما يسمى بالملف الثانوى (الذى يمثل في هذه الحالة ملف الجهد المنخفض) ، ويتم لف الملفين على القلب الحديدي ، الذى يمثل الدائرة المغناطيسية . عند مرور تيار Io في الملف (P) يتسبب في انشاء فيض مغناطيسي متشابك معه (Φ_o) في القلب الحديدي ، وهذا الفيض يتشابك ايضاً مع الملف (S) ، فينتج فيه قوة دافعه كهربائية ($e.m.f$) بالتأثير المتبادل . اذا تم توصيل الملف (S) الى حمل ، فان القوة الدافعة الكهربائية تعمل على مرور التيار في الحمل أى أن القدرة الكهربية تتحول بهذا الشكل الى الحمل . الملف الثانوى (S) يستقبل هذه القدرة عن طريق المجال المغناطيسي الاساسي الناتج من مرور تيار بالملف الابتدائي (P) والذى يكون متصلاً اصلاً بمصدر القدرة المراد تحويلها من خلال المحول . يتشابك المجال المغناطيسي (Φ_o) مع كل من الملف الثانوى (S) والملف الابتدائي (P) ولذلك تتولد قوة دافعة كهربية ايضاً في الملف الابتدائي (P) ، وتعرف بالقوة الدافعة الابتدائية ويرمز لها بالرمز (E_1) ، وتعرف في الملف الثانوى بالقوة الدافعة الكهربائية الثانوية ويرمز لها بالرمز (E_2) ، وتكون النسبة بينهما كالنسبة بين عدد اللفات في كل من الملفين الابتدائي



شكل (١٥ - ١)



شكل (١٦ - ١)

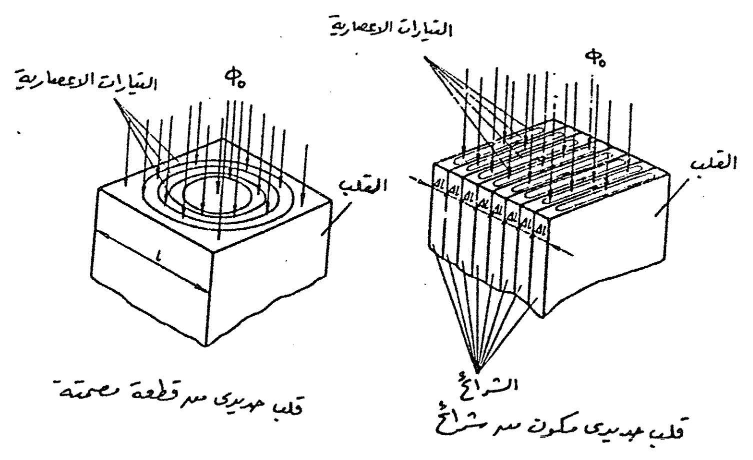
والثانوى . يكون قلب المحول عبارة عن شرائح رقيقة من الحديد ، ونظراً لأن الفيض المغناطيسى المتردد يمر خلال هذه الشرائح ، تتولد فيها ايضاً قوى كهربية بالتأثير المغناطيسى تعمل على انشاء تيارات كهربية فى مسارات مقفلة فى القلب الحديدى ، وتعرف هذه التيارات بالتيارات الاعصارية *Eddy Currents* وهى تتسبب فى سخونة القلب الحديدى ، وبالتالى فقد فى الطاقة ، ومن هنا جاءت تسميتها بالتيارات الطفيلية (*Parasitic Currents*) .

اذا تم تصنيع القلب الحديدى من قطعة مصمته من الصلب ، فسوف تنخفض مقاومته لمرورالتيارات الاعصارية ، فترتفع قيمتها ، وبالتالى تزداد مفقودات التيارات الاعصارية . لا يمكن التخلص كلية من التيارات الاعصارية ، ولكن يتم تخفيضها بقدر الامكان . مما يقلل سخونة القلب الحديدى بقدر الامكان . وعلى ذلك يتم تصنيع المحول من شرائح رقيقة من الصلب تكون معزولة عن بعضها البعض بطبقة من الورنيش أو طبقة من أية مادة عازلة مناسبة . وعلى ذلك يتم تقسيم السمك الكلى للقلب (l) الى شرائح رقيقة متساوية سمك كل منها (Δl) . بذلك يكون مسار التيارات الاعصارية كما هو موضح فى شكل (١٧-١) ، فتمر التيارات الاعصارية فى الشرائح ، ولا تمر بينها ، مما يؤدى الى تقليل مساحة المقطع ، وبالتالى زيادة المقاومة الكهربية الى حد كبير .

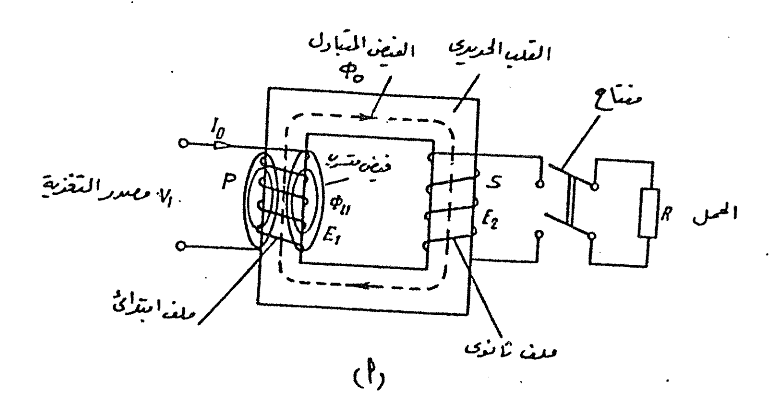
بأضافة مادة السيليكون (*Silicon*) للصلب ، عند تصنيع القلب الحديدى يمكن تقليل التيارات الاعصارية الى حد كبير ، لان مادة السيليكون تزيد معامل المقاومة (*Resisitivity*) للصلب ، بدون التأثير على خواصه المغناطيسية . ليست التيارات الاعصارية فقط هى المتسببة فى سخونة القلب ، ولكن نتيجة التغيير الدائم فى القيمة والاتجاه لتيار المغنطة تنشأ فى القلب الحديدى مفقودات تعرف بمفقودات التخلف (*Hysteresis Losses*) ، وهى تعمل ايضاً على سخونة القلب الحديدى .

تشغيل المحول عند اللاحمل

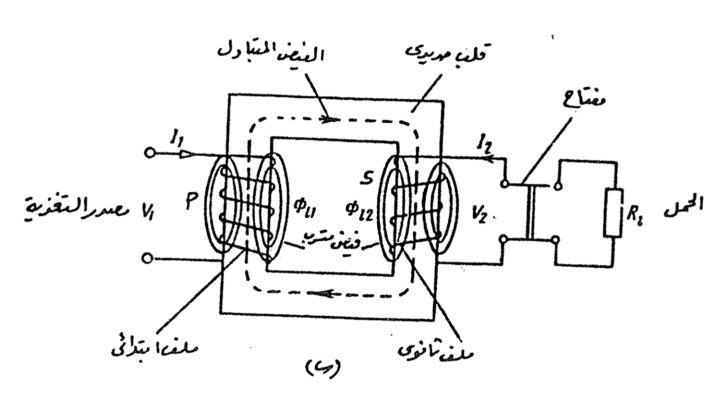
شكل (١٨-١) أ يوضح محول ذو وجه واحد ، والملف الثانوى له (S) غير متصل بالحمل . يتم توصيل الملف الابتدائى (P) بجهد متردد (V_1) ويكون الملف الثانوى



شكل (١٧ - ١)



(أ)



(ب)

شكل (١٨ - ١)

كدائرة مفتوحة . الجهد (V_1) يتسبب فى مرور تيار (I_0) فى الملف الابتدائى ، بينما لا يمر اى تيار بالملف الثانوى (S) ، وهذا هو ما يعرف بتشغيل المحول عند اللاحمل . يتسبب التيار (I_0) فى توليد مجال مغناطيسى على شكل موجه جيبية (Φ_0) ، ويعرف I_0 بتيار اللاحمل وهو يتركب من مركبتين ، احداهما تيار الاثارة للمحول والثانية المركبة التى تعطى مفقودات الحديد . ويكون Φ_0 هو الفيض المغناطيسى الرئيسى أو المتبادل . حيث ان Φ_0 يتشابك مع كل من الملف الابتدائى والملف الثانوى للمحول ، فانه يولد قوة دافعة كهربية *(e.m.f)* فى كل منهما . (E_1) تتولد بالملف ، نتيجة التأثير الذاتى ، بينما $(E2)$ تحدث بالملف الثانوى نتيجة التأثير المتبادل وتكون قيمة جذر متوسط المربع *(r.m.s)* لكل منهما عبارة عن :

$$E_1 = 4.44\ f\ N_1\ \Phi_{0\ max}\ 10^{-8}\ \text{volt} \qquad (١)$$

$$E_2 = 4.44\ f\ N_2\ \Phi_{0\ max}\ 10^{-8}\ \text{volt} \qquad (٢)$$

حيث

$N_1 =$ عدد لفات الملف الابتدائى

$N_2 =$ عدد لفات الملف الثانوى

$f =$ التردد (هرتز)

$\Phi_{0\ max} =$ اقصى قيمة للفيض المغناطيسى المتبادل

بقسمة المعادلتين ١ ، ٢

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad (٣)$$

تمثل هذه النسبة خاصية أساسية للمحولات ، وهى أن النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالملفين تتناسب مع عدد لفات الملفين .

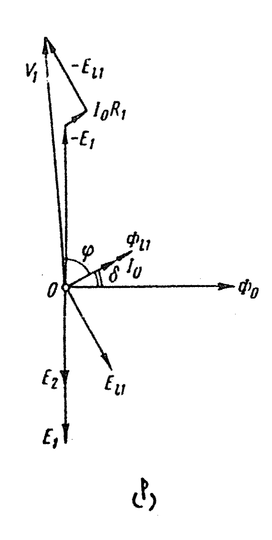
وتسمى النسبة N_1/N_2 نسبة المحول (*Transformer Ratio*) وعلى ذلك فان أى محول يمكن استخدامه كوحدة لرفع أو خفض الجهد .

ويعتمد هذا على طريقة توصيل الملف الابتدائى والملف الثانوى ، وأيهما يكون ملف الجهد العالى ، وأيهما يكون ملف الجهد المنخفض ، وعادة يسمى الملف المتصل بمصدر التغذية بالملف الابتدائى ، والملف المتصل بالحمل الملف الثانوى ، فى شكل (١٨ - ١)أ يلاحظ أن جزء من الفيض المغناطيسى يتسرب بالحيز المحيط بالملف الابتدائى (P) ويرمز له بالرمز (ϕ_{11}) ، وهو يمر خلال الهواء ويتشابك فقط بملفات الملف الابتدائى (N_1) . وقيمة (ϕ_{11}) تتناسب مع تيار الملف الابتدائى ، ويكون مترددا ، ويحدث قوة دافعة كهربية بالتأثير الذاتى ، يرمز لها بالرمز (E_{11}) ، فى الملف الابتدائى .أى أن مركبتين للقوة الدافعة الكهربية تتولدان بالملف الابتدائى ، احداهما (E_1) نتيجة الفيض الاساسى ، والاخرى (E_{11}) نتيجة فيض التسرب . وتكون المعادلة العامة فى هذه الحالة .

$$\overline{V}_1 = \overline{I}_o R_1 - \overline{E}_1 - \overline{E}_{11}$$

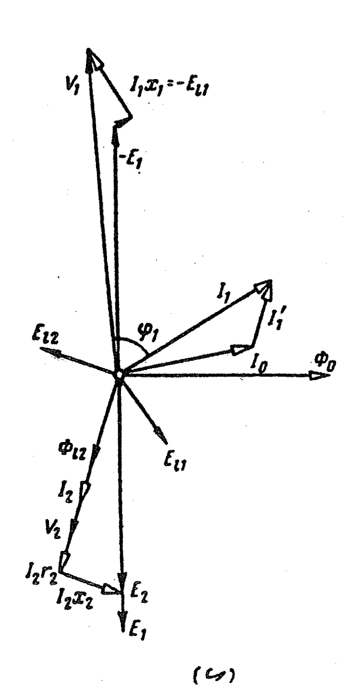
يلاحظ وجود اشارة (-) قبل كل من E_{11} , E_1 ، لأن القوة الدافعة الكهربية فى عكس اتجاه جهد المصدر ، وتكون R_1 هى قيمة مقاومة الملف الابتدائى .

شكل (١٩ - ١)أ يوضح رسم المتجهات للمحول فى حالة اللا حمل ، ويلاحظ أن هناك زاوية اختلاف (δ) بين الفيض الرئيسى (ϕ_o) والفيض التسربى (ϕ_{11}) يطلق عليها اسم زاوية الفقد (*Loss Angle*) ، وهى راجعة الى فقد التخلف بالقلب الحديدى . كذلك يلاحظ أن اتجاه الفيض المغناطيسى يكون متعامدا على اتجاه القوة الدافعة الكهربية . لا يمرتيارابالملف الثانوى (S) فى حالة تشغيل المحول عند اللاحمل ، وبالتالى لا يستهلك به اية قدرة . فى نفس الوقت ، فان الملف الابتدائي يسحب من مصدر التغذية (الشبكة أو المولد) جزءاًمن القدرة غير الفعالة ، وكذلك جزءاًمن القدرة الفعالة . جزء صغير من القدرة الفعالة تفقد كحرارة متبددة فى الملف الابتدائى ، ويقدر هذا الفقد بالقيمة ($I^2_o R_1$)، ويكون كل من (R_1) ، (I_o) دائما صغيرا (I_o حوالى من ٣ الى ١٠ ٪ من قيمة تيار الحمل الكامل) ، اما الجزء الاكبر من القدرة الفعالة فتكون عبارة عن مفقودات التيارات الاعصارية ومفقودات التخلف فى القلب الحديدى (أى مفقودات الحديد *Iron Loss*) . اذاً مفقودات اللاحمل تحتوى على كل من



V_1
$-E_{l1}$
I_0R_1
$-E_1$
φ
Φ_{l1}
δ
I_0
0
Φ_0
E_2
E_{l1}
E_1

(أ)



V_1
$I_1x_1=-E_{l1}$
$-E_1$
I_1
I_1'
φ_1
E_{l2}
I_0
Φ_0
Φ_{l2}
E_{l1}
I_2
V_2
I_2r_2
I_2x_2
E_2
E_1

(ب)

شكل (١٩ - ١)

مفقودات النحاس المتمثلة فى القيمة $I^2_o R_1$ ، الناشئة عن تيار اللاحمل فى الملف الابتدائى ، والمفقودات فى القلب الحديدى . عند استخدام جهد ثابت (V_1) كتغذية من خلال الملف الابتدائى ، فان مفقودات اللاحمل لا تعتمد على حمل المحول ، حيث تعتمد مفقودات الحديد على القيمة الاساسية للفيض المغناطيسي (ϕ_o) الذى لا ترتبط قيمته بتيار الحمل،دائما تعتمد على الجهد (V_1) ، وبمعنى اخر فان اللاحمل (عندما تكون V_1 ثابتة) تعتبر مفقودات ثابتة فى المحول ، موجودة فى أية حالة تشغيل للمحول ولا تعتمد على الحمل بأي شكل .

تشغيل المحول عند الحمل :

شكل (١٨ - ١)ب يوضح توصيل الملف الثانوى للمحول على حمل (R). حيث تم توصيل مفتاح لتوصيل الحمل ، ومر تيار I_2 بالملف الثانوى . هذا التيار يحدث فيض مغناطيسى متردد يتكون من جزئين ، الجزء الاكبر عبارة عن (ϕ_2) ، وهو الذى يمر بالقلب ، وجزء صغير عبارة عن (ϕ_{I2}) ، يمر بالهواء ، ويتشابك مع الملف الثانوى فقط ، وهو ما يعرف بالفيض المغناطيسى المتسرب . التيار المار بالملف الثانوى ، والناشئ عن وجود الحمل ، ينشئ الفيض المغناطيسى (ϕ_2) ، الذى يضاد (ϕ_o) ، على حسب قانون لنز ، وبمعنى آخر فان الفيض الناتج من التيار المار بالملف الثانوى يعمل على الغاء الفيض الرئيسى (ϕ_o) ، وهو ما يهدد بالغاء (E_1) ، (E_2) وانهيار العملية بأسرها ، ولكن المصدر الكهربائى يعمل على مساندة هذه العملية ، وذلك بايجاد فيض مغناطيسى جديد فى القلب الحديدى قيمته (ϕ_1) ، يساوى ويضاد (ϕ_2) ، بحيث لا تتأثر قيمة (ϕ_o) ، ويظل باقيا كما هو فى القلب الحديدى .ويستلزم ذلك ان تكون الامبير - لفات (القوة الدافعة المغناطيسية) التى تنشئ (ϕ_1) مساوية للامبير لفات التى أنشأت (ϕ_2) لان كلا من الفيضين يقابل نفس المقاومة المغناطيسية فى القلب الحديدى . لذلك يجب ان يكون $I_{12} N_1$ مساويا $I_2 N_2$ حيث يكون I_{12} هو مركبة التيار فى الملف الابتدائى التى تحمل الطاقة من الملف الابتدائى الى الملف الثانوى خلال المجال المغناطيسى المتبادل بين الملفين . ونجد فى هذه الحالة ان

$$I_{12} N_1 = I_2 N_2$$

$$\frac{I_{12}}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{E_2}{E_1}$$

$$I_{12} E_1 = I_2 E_2$$

$$\bar{E}_2 = \bar{V}_2 + \bar{I}_2 R_2 + \bar{I}_2 X_2$$

(القوة الصادرة من الملف الابتدائى = القدرة فى الملف الثانوى)

حيث $\bar{E}_2$ = القوة الدافعة الكهربية للملف الثانوى

$\bar{V}_2$ = الجهد بين طرفى الملف الثانوى

R_2 = مقاومة الملف الثانوى

X_2 = ممانعة الملف الثانوى الناشئة عن الفيض المتسرب حوله

شكل (١٩ - ١)ب يوضح رسم متجهات للمحول فى حالة وجود الحمل .

الدائرة المكافئة للمحول :

تتكون الدائرة المكافئة من جزئين رئيسيين ، جزء يمثل الملف الابتدائى وتكون مكوناته عبارة عن (X_o , R_o , X_1 , R_1) ، وجزء يمثل الملف الثانوى وتكون مكوناته (R_2 , X_2) كما فى شكل (٢٠ - ١) أ

(X_o , R_o تمثل مفقودات اللاحمل ، وممانعه المغنطة) ويربط بين الجزئين المجال المغناطيسى فى القلب الحديدى .

لكى يتم رسم الدائرة المكافئة للمحول بدون رسم القلب الحديدى يتم نقل مكونات الملف الابتدائى الى الملف الثانوى ، أو العكس ، وبالتالى نحصل على دائرة كهربائية واحدة متصلة (ليست مفصولة بالقلب الحديدى) أحد طرفيها متصل بمصدر التغذية ، والطرف الآخر متصل بالحمل ، كما فى شكل (٢٠ - ١) ب بحيث تكون نفس الخصائص مشتركة فى الدائرتين (٢٠-١) أ ، (٢٠ - ١) ب .

عند نقل مكونات الملف الابتدائى الى الملف الثانوى تعرف بأن الملف الابتدائى اصبح منسوبا الى الملف الثانوى وتصبح

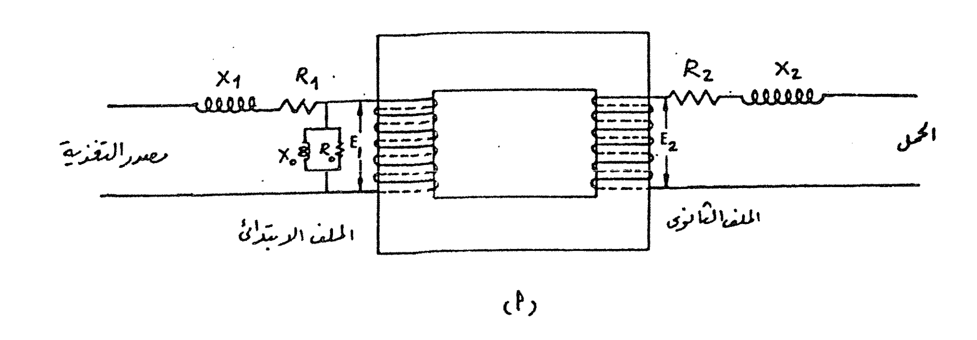
$$R_1' = R_1 (I_1 / I_2)^2 = R_1 (N_2 / N_1)^2 ,$$

$$X_1' = X1 (N_2 / N_1)^2$$

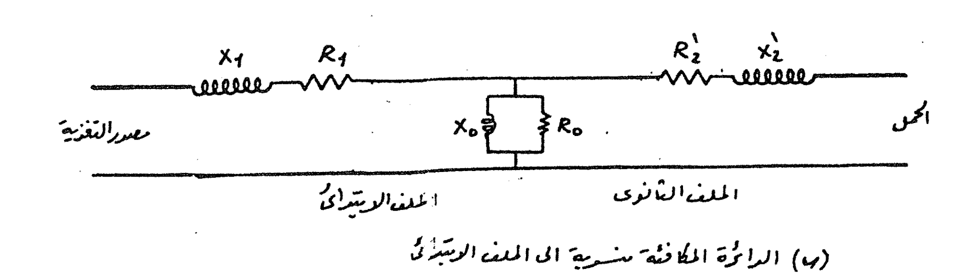
بينما نجد،عند نقل مكونات الملف الثانوى الى الملف الابتدائى ان الملف الثانوى أصبح منسوبا الى الملف الابتدائى وتصبح :

$$R_2' = R_2 (I_2 / I_1)^2 = R_2 (N_1 / N_2)^2$$

$$X'_2 = X_2 (N_1 / N_2)^2$$



(أ)



(ب) الدائرة المكافئة منسوبة الى الملف الابتدائى

شكل (٢٠ - ١)

٣-١ المكونات الرئيسية للمحولات

يعتبر القلب والملفات هى المكونات الاساسية للمحولات، فيمثل القلب الدوائر المغناطيسية حيث يسمح بمرور دوران الفيض المغناطيسى ، بينما تمثل الملفات الدوائر الكهربائية نتيجة مرور التيار الكهربى بالملفات الابتدائية والثانوية .

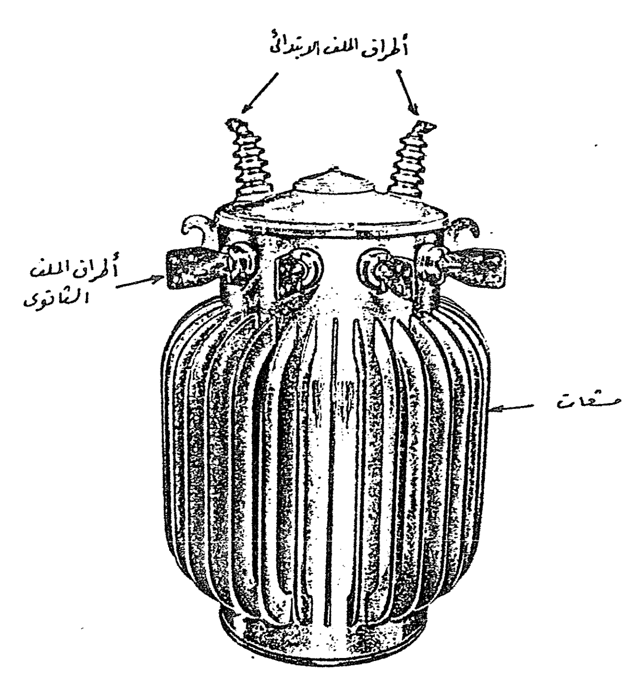
تشكل الملفات والقلب وحدة كاملة لكل وجه فى المحول ويتم تنظيم جهد المحول من خلال تغيير عدد لفات الملف الابتدائى وهو ما يعرف بتغيير خطوة المحول ، أو تغيير نقط التقسيم على الملف الابتدائى. حيث تعرف نقط التقسيم على الملف الابتدائى وكذلك نهايات الملفات بالاطراف . فتخرج اطراف الملفات خارج جسم المحول من خلال عازل اختراق يحتوى على موصل مركزى (قضيب أو انبوبة) ، ويتم تثبيت العوازل على جسم المحول العلوى بحيث يكون الجزء العلوى خارج المحول ، وجزء من العازل مغموس داخل المحول . قد يحتوى المحول على انابيب للتبريد ملحومة مع الجسم أو يحتوى على مشعات (ردياتورات) مثبته على جسم المحول من الخارج ، جميع الاجهزة المساعدة مثبته على جسم المحول .

عند تشغيل المحولات تكون جميع أجزائها الرئيسية (الملفات ـ اطراف النهاية ...) مسلط عليها جهد عالى بالنسبة للقلب ، للخزان ، وللأجزاء المتصلة بالأرض ومن هنا يأتى أهمية وجود مواد عازلة بين مكونات المحول ، بعضها البعض .

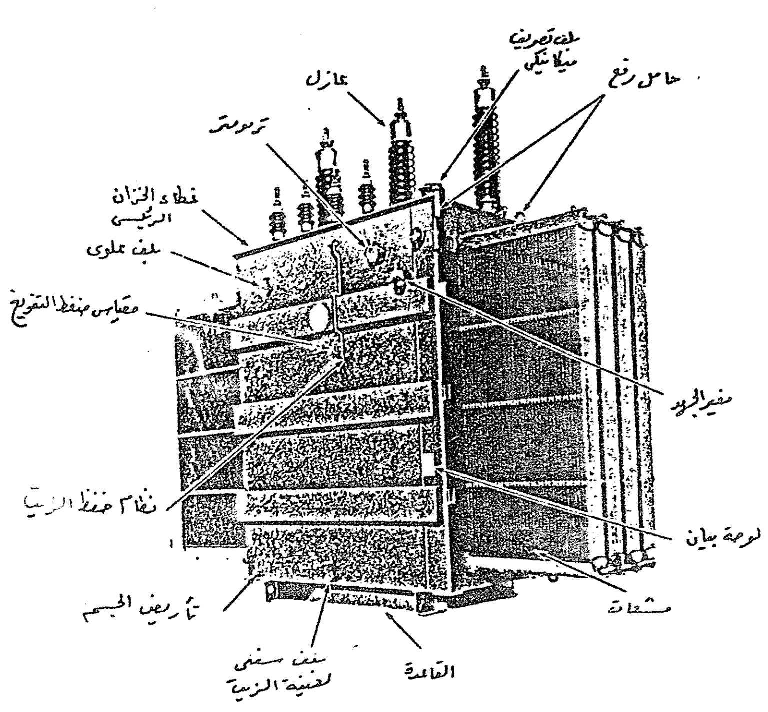
تنقسم المواد العازلة المستخدمة بالمحولات الى مواد صلبة ومواد سائلة ، العازلات الصلبة شائعة الاستخدام فى المحولات عبارة عن : ورق ، خشب ، الواح ورق مضغوط .. أما العازلات السائلة مثل الزيت والذى يستخدم ايضاً كمبرد .

اثناء تحميل المحول ، ومع تغير درجات الحرارة المحيطة بالمحول ، فان الزيت داخل جسم المحول يتمدد أو ينكمش ، ولذلك يجهز المحول بخزان احتياطى ، وهو ما يعرف بخزان التمدد ، والذى يتصل بالخزان الرئيسى بأنبوبة،يملأ الخزان الاحتياطى بالزيت حتى حد معين ، ويترك حيز بدون زيت تحسباً للتمدد ويجهز الخزان الاحتياطى بأنبوبة بيان الزيت محدد بها الحد الأدنى ، الحد الأعلى لمستوى الزيت بالخزان الاحتياطى (بعد التمدد) .

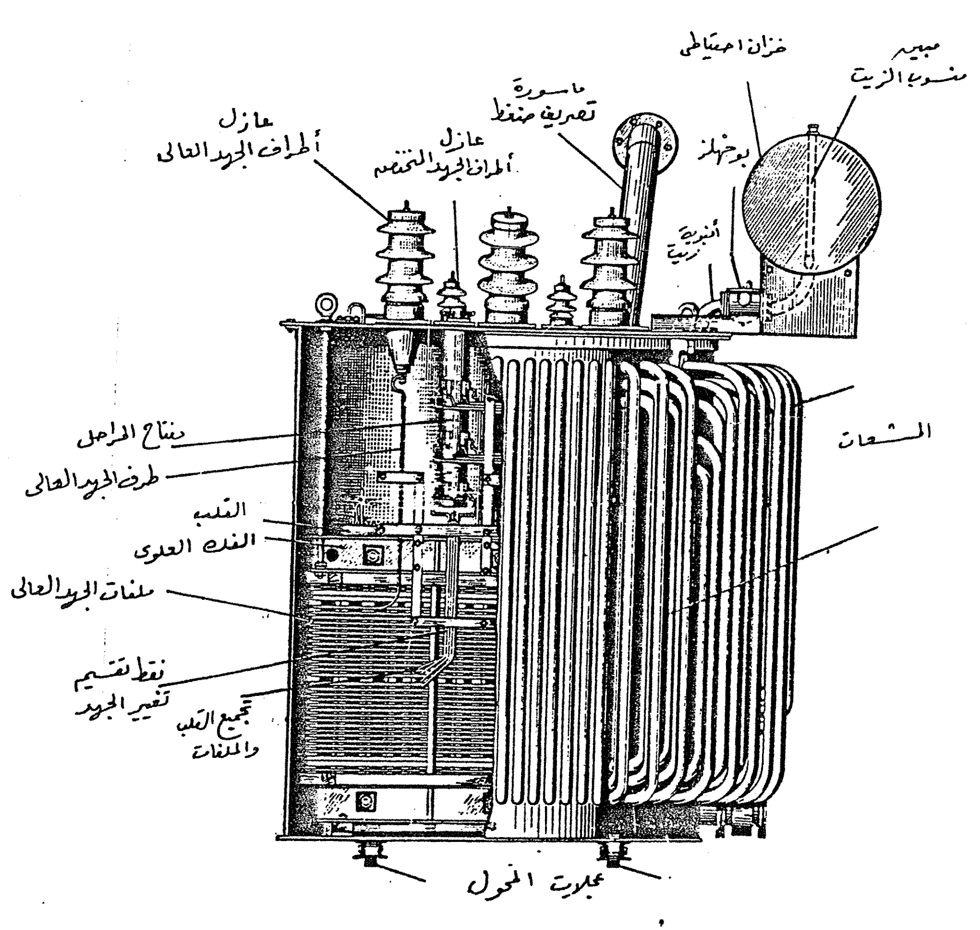
الاشكال (٢١-١) ، (٢٢-١) ، (٢٣-١) توضح أنواعاً مختلفة من المحولات ،موضحاً عليها المكونات الرئيسية .



شكل (٢١-١) محول توزيع أحادي الوجه (إنتاج وستنجهاوس)



شكل (٢٢-١) محول قدرة ٣٠ م.ف.أ. (إنتاج وستنجهاوس)



شكل (٢٣-١) محول توزيع ٧٥٠ ك.ف.أ. (إنتاج روسى)

وعلى ذلك يمكن تلخيص المكونات الرئيسية للمحول كالآتى :

- الدوائر المغناطيسية أو القلب .
- الملفات الثانوية والابتدائية .
- تجميع القلب والملفات .
- العازلات (اطراف الملفات)
- عزل الملفات .
- الخزان - التبريد ......

الدائرة المغناطيسية *The Magnetic Circuit*

الغرض من الدوائر المغناطيسية بالمحول هو تجهيز مسار ، ذى مقاومة صغيرة ، لمرور خطوط الفيض المغناطيسى (Flux) الناتج من مرور تيار متردد فى الملف الابتدائى للمحول . شكل (٢٤-١) يوضح ثلاثة انواع للدوائر المغناطيسية :

شكل (٢٤ - ١) أ يوضح ملف ملفوف فى الهواء (اى بدون قلب حديدى)

شكل (٢٤ - ١) ب يوضح ملف ملفوف على قلب حديدى .

شكل (٢٤ - ١) جـ يوضح ملف ملفوف على قلب حديدى يحتوى على ثغرة هوائية .

عند تسليط جهد (E) على الملف ، يمر تيار - فى الاتجاه الموضح بالاشكال -

ينتج عنه فيض مغناطيسى يمر فى الدائرة المغناطيسية (الخطوط المتقطعة) وفى الاتجاه الموضح بالشكل ، وتكون قيمة هذا الفيض

$$\Phi = \frac{0.4\,\pi\,N\,I}{l/\mu_r A}$$

وذلك باستخدام الوحدات العلمية غير المنسقة حيث يكون :

Φ = الفيض المغناطيسى (خط)

N = عدد لفات الملف

I = التيار المار فى الملف (أمبير)

l = متوسط طول المسار المغناطيسى (سم)

μ_r = معامل النفاذ المغناطيسى النسبى للمادة المستخدمة فى الدائرة المغناطيسية . *(Relative Permeability)*

A = مساحة مقطع المسار المغناطيسى (سم٢) .

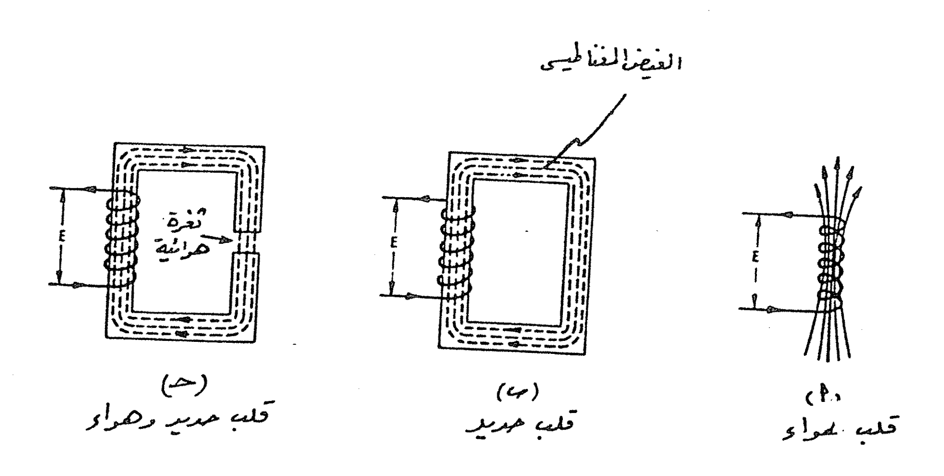
تعرف النسبة ($l / \mu_r A$) بالمعاوقة المغناطيسية ويرمز لها بالرمز (S) وهى مقاومة الدائرة المغناطيسية لمرور الفيض المغناطيسى بالدائرة ، وتقاس بالوحدات العملية المنسقة (امبير - لفات / ويبر) .

وتعرف (NI) بالقوة الدافعة الغناطيسة *(Magnetomotive Force m.m.f)* وهى القوة التى تعمل على مرور الفيض المغناطيسى فى الدائرة المغناطيسية ووحدتها الامبير - لفات .

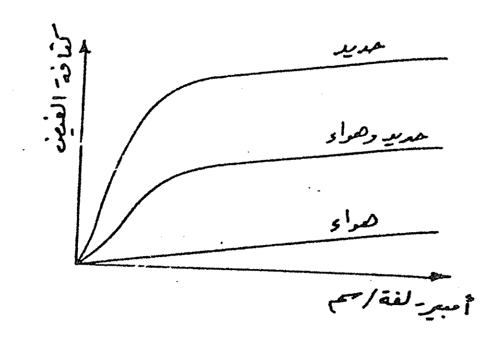
يمكن تغيير الامبير - لفات (NI) للملف اما بتغيير عدد اللفات (N) أو بتغيير التيار (I) أو بتغيير الاثنين معاً ، وبالتالى يتغير الفيض المغناطيسى (Φ) فى الدائرة المغناطيسية . معامل النفاذ المغناطيسى النسبى (μ_r) للهواء يكون ثابت ، وبالتالى فان الفيض (Φ)سوف يتناسب مباشرة مع القوة الدافعة المغناطيسية ، كما تعرف كثافة الفيض *(Flux Density)* بعدد خطوط الفيض مقسوماً على مساحة مقطع الدائرة المغناطيسية (Φ/A) ويرمز لها بالرمز (B) ، وهى تتناسب ايضاً مع شدة المجال المغناطيسى (H) . والعلاقة بين H, B للهواء عبارة عن خط مستقيم ، كما فى شكل (٢٥-١) .

لو أخذنا عدداً معيناً من الامبير - لفة / سم نجد ان معامل النفاذ النسبى للحديد (μ_r) يعتبر كبيراً جداً بالنسبة لمعامل النفاذ للهواء ، الذى يؤخذ على أنه الواحد الصحيح كأساس للمقارنة ، وذلك لأن كثافة الفيض تكون كبيرة جداً للحديد عنها للهواء ، أو عند كثافة تدفق معينة فإن عدد الامبير - لفة / سم اللازمة لانتاج التدفق الكلى يكون أقل كثيراً فى الحديد عنه للهواء ، وعلى ذلك فان معامل النفاذ النسبى للحديد غير ثابت القيمة ، واذا زادت كثافة الفيض فان الحديد سوف يتشبع ويكون المنحنى مسطح ويصبح موازياً لمنحنى المغنطة للهواء ، كما فى شكل (٢٥-١) .

اذا تم عمل ثغرة هوائية *(Air Gap)* بالقلب الحديدى كما فى شكل (٢٤-١) جـ فان المعاوقة المغناطيسية *(Reluctance)* تزيد قيمتها ويصبح منحنى المغنطة اكثر خطية ، كما فى شكل (٢٥-١) ، ويقع بين منحنى الهواء ومنحنى الحديد . وفى حالة ازدياد عدد الثغرات



شكل(٢٤-١) أنواع مختلفة من الدوائر المغناطيسية .



شكل (٢٥-١) المنحنيات المغناطيسية

الهوائية فى القلب الحديدى فان المنحنى سوف يقترب من منحنى المغنطة للهواء .

تعرف الدائرة المغناطيسية بالمحولات بالقلب وسنتعرض لتكوين القلب وأنواعه .

القلب *The Core*

يعرف القلب بأنه دائرة مغناطيسية مغلقة تسمح بمرور الفيض المغناطيسى مغلق الدائرة *(Magnetic Flux)*، فى نفس الوقت الذى يكون القلب هو أيضاً القاعدة الاساسية التى تبنى عليها الملفات .

يتم تصنيع القلب من شرائح *(Laminations)* من الصلب السليكونى *(Silicon Steel)* ، نسبة السيليكون فيه ٤ – ٥ ٪ ، وسمك الشرائح تتراوح بين ٠,٣٥ مم الى ٠,٥ مم (وفى الغالب ٠,٣٥ مم) ، وتغطى الشرائح بمادة عازلة أما طلاء (ورنيش) أو ورق . من خصائص هذه السبيكة :

- المقاومة الكهربائية عالية *High Electrical Resistance*
- معامل النفاذ المغناطيسى مرتفع *High Permeability*
- فقد التخلف المغناطيسى منخفض جداً *Low Hysteresis Loss*

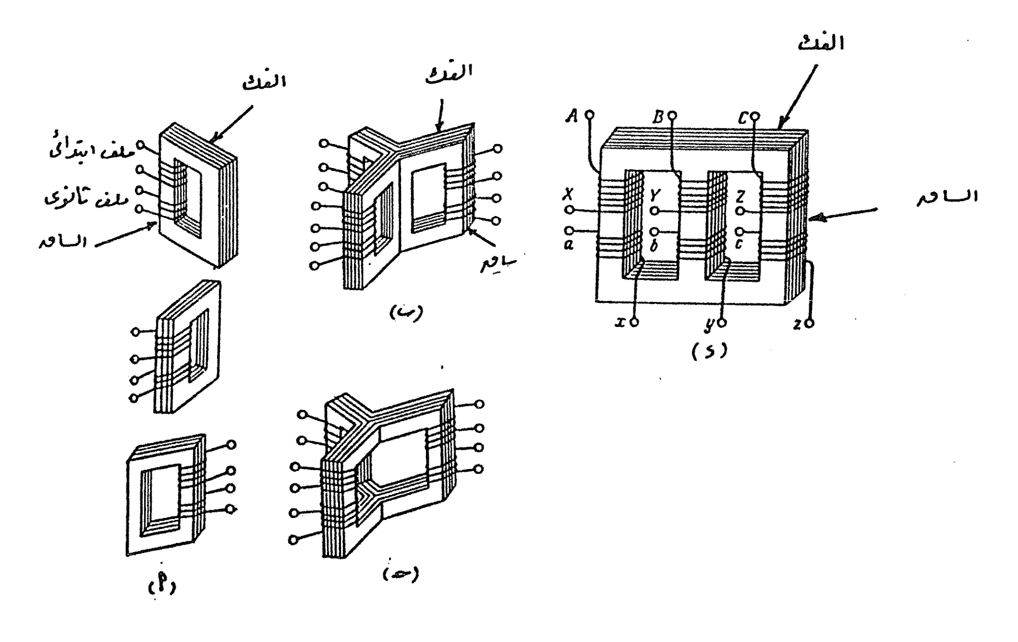
ويعتبر تقليل الفقد الناشىء عن التيارات الاعصارية *(Eddy Current Loss)* من مميزات استخدام الشرائح فى صناعة القلب ، وكلما قل سمك الشرائح كلما كان الفقد منخفضاً ، ولكن يجب مراعاة التوقف عند سمك معين حتى لا تكون الشرائح ضعيفة ميكانيكياً (٠,٣٥ مم عادة) .

يتم ربط أو مسك الشرائح المكونة للقلب عن طريق مسامير *(Bolts)* أو شرائح *(Tape)*، أو أربطة *(Bonds)* بحيث تكون جميع الاربطة معزولة . فى الصناعات الحديثة لم يعد استخدام المسامير للرباط وذلك منعاً لزيادة الفقد فى القلب بالاضافة الى ما تحتاجه من عمل فتحات لربط المسامير بالشرائح او ما تسببه من مخاطر انهيار العزل .

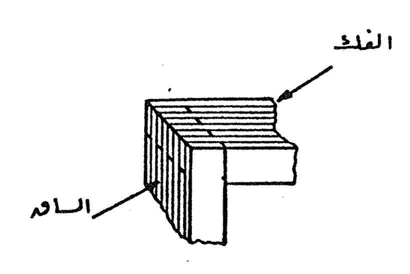
شكل (٢٦–١) يمثل اشكالاً مختلفة لقلب المحول .

شكل (٢٦–١) أ يوضح ثلاثة وحدات لقلب محول أحادى الوجه ، يمكن استخدامهم لتكوين قلب لمحول ثلاثى الاوجه .

شكل (٢٦–١) ب يسمى قلب من النوع *Y* يحتوى على مسار تعادل بينما شكل (٢٦–١) جـ



شكل (٢٦-١)



شكل (٢٧-١)

يسمى أيضاً قلب من النوع Y ، ولكن لا يحتوى على مسار تعادل وأحياناً يسمى قلب متماثل *(Symmetrical)* ..

شكل (٢٦-١) ء يمثل قلب محول ثلاثى الأوجه فى اتجاه مشترك .

يلاحظ من الاشكال السابقة أن هناك جزءاً من القلب توضع عليه الملفات ، ويعرف هذا الجزء بالساق *(Limb)*، بينما يوجد جزء أخر لا توضع عليه الملفات ويعرف بالفك *(Yoke)* ويتم من خلاله استكمال الدائرة المغناطيسية .

شكل (٢٧-١) يوضح جزء الربط بين الساق والفك .

غالباً يكون مقطع الساق دائرياً مدرجاً ، حيث أن الشرائح ذات سمك قليل جداً ، وبالتالى فان المقطع فى الشرائح المتجاورة يكوّن دائرة ، فيما عدا فراغات صغيرة جداً عند المحيط ، شكل (٢٨-١) يوضح قطاعات مختلفة فى ساق ذات عدد من الشرائح ٦ ، ٧ ، ١٤ (هذا الرقم يمثل عدد الشرائح فى نصف الدائرة) .

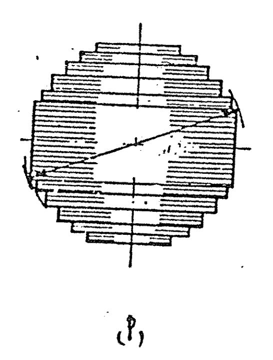
يوجد نوعان من اشكال القلب هما :

أ - النوع ذو القلب *The Core Type*

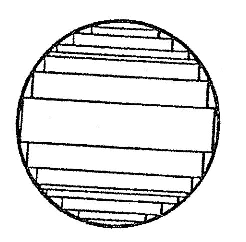
فى هذا النوع يكون الحديد أُو الصلب محاط بالملفات وهو المستخدم فى جميع المحولات بجميع القدرات ، ذات الوجه الواحد أُو الاوجه الثلاثة.شكل (٢٩-١) يوضح هذا النوع . وفيه يكون الساق *(Limb)* رأسياً ومقطعه شبه دائرى ، ويحمل ملفات اسطوانية ـ الجزء العلوى من القلب وهو ما يعرف بالفك *(Yoke)* لا يحتوى على أية ملفات ، ولكن يساعد على استكمال الدائرة المغناطيسية بالقلب كما اسلفنا الذكر .

شكل (٣٠ - ١) يمثل مقطعاً رأسياً فى قلب محول ثلاثى الأوجه ، يحتوى على الملفات الابتدائية والثانوية .

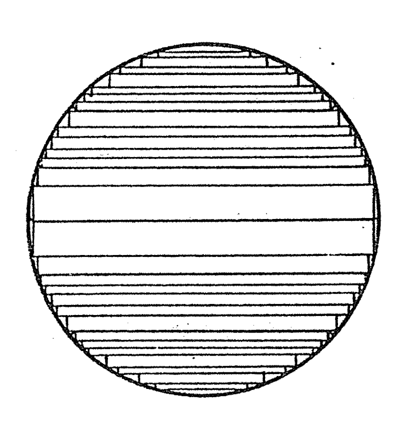
(٣١ -١) يمثل مقطعاً رأسياً ومقطعاً افقياً فى محول أحادى الوجه ، موضحاً به الملفات الابتدائية والثانوية .



(أ)

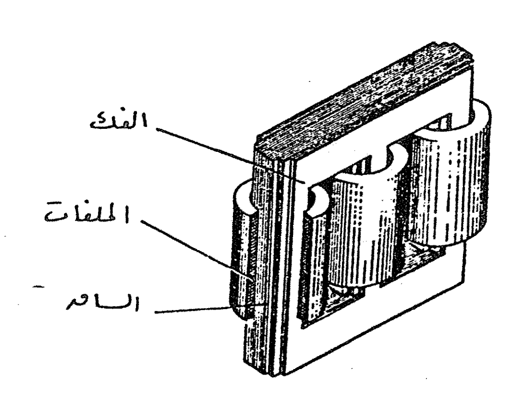


(ب)

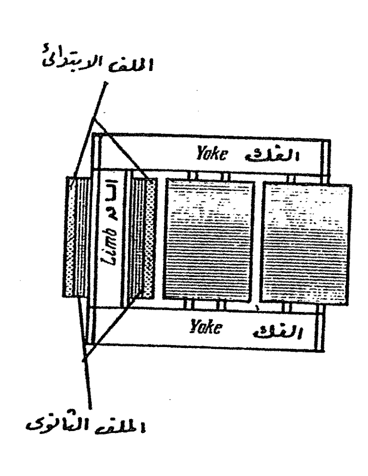


(ج)

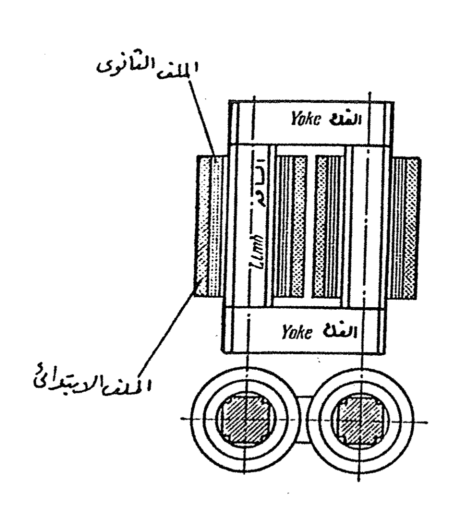
شكل (٢٨-١)



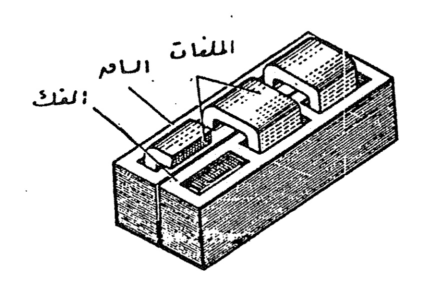
شكل (٢٩-١)



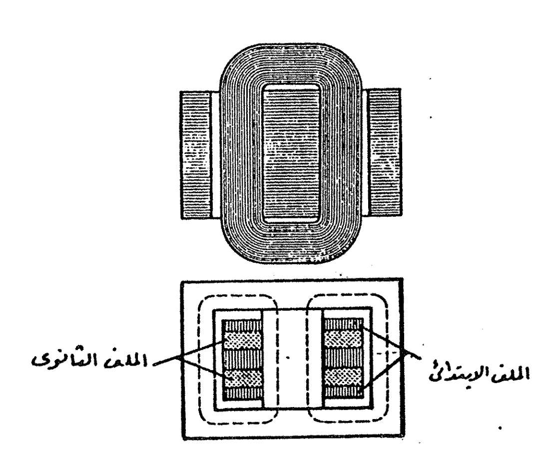
شكل (٣٠-١)



شكل (٣١-١)



شكل (٣٢-١)



شكل (٣٣-١)

ب – النوع ذو الدائرة المغناطيسية المحيطة (باللفائف)

(أو النوع الهيكلى) *(The Shell Type)*

فى هذا النوع تكون الملفات محاطة بالحديد أو الصلب ، ويستخدم هذا النوع فى المحولات ذات القدرات الصغيرة ، وبينما يكون النوع ذو القلب هو الغالب على صناعة المحولات فى اوروبا ، فان النوع الهيكلى هو الغالب على صناعة المحولات فى امريكا .

يوضح شكل (٣٢ –١) هذا النوع وفيه يكون الساق *(Limb)* فى وضع افقى ومقطعه مستطيل وبالتالى تكون الملفات ذات مقطع مستطيل .

شكل (٣٣ – ١) يمثل مقطعاً فى محول أحادى الوجه موضحاً به الملفان الابتدائى والثانوى ، فى جميع الحالات يتم توصيل الساق مع الفك باستخدام احدى الطريقتين الآتيتين :

– وصلة تناكب *(Butt)*

يتم فيها تجميع شرائح الصلب السليكونى المكونه للساق والفك فى شكل حزمة أو كومة أو مجموعة منفصلة ، ثم يتم وضع الملفات على السيقان *(Limbs)* ويتم ربط الفك بأعلى الساق .

الأسطح المتلاصقة للشرائح المكونة للساق أو الفك تكون معزولة بمادة عازلة ، منعاً لحدوث قصر بالشرائح.بعد تثبيت الساق العلوى ، يتم ضغط الدائرة المغناطيسية ـ القلب ـ وتمسك الشرائح بمسامير ربط

– تداخل *(Interleaved)*

يتم فيها تداخل بين نهايتى الساق والفك المتجاورتين ، بحيث تتداخل الشرائح مع بعضها ـ ويتم التثبيت بعمل عاشق ومعشوق بين الشرائح المتجاورة .

من مميزات هذه الطريقة ، وزن أقل للقلب ، متانة ميكانيكية كبيرة *(Mechanical Strength)* ، الفراغ أو الحيز عند اماكن الربط يكون صغيراً ، مع قيمة صغيرة لتيار التنبيه . يتم تصنيع القلب حديثاً من شرائح مصنوعة من صلب مسحوب على البارد فى اتجاه الحبيبات *(Grain-Oriented Cold Rolled Steel)*، ذى سمك يتراوح بين ٣, مم

الى ۰٫۳۳ مم مغطى من الوجهين بمادة عازلة . وفى المحولات الكبيرة يمكن تغطية وجه واحد بورنيش مانع للزيت (Oil Proof Varnish) .

القلب ذو الشرائح الملتفة باتجاه الحبيبات المصنوع من صلب سليكونى حبيبى . *Strip-Wound Cores In Grain-Oriented Silicon Steel*

تستخدم هذه المادة لتشكيل قلب المحول بأشكال مختلفة ، بحيث تكون الشرائح مستمرة ، وبذلك يمكن الاستفادة من جميع الخصائص المغناطيسية لمادة الصلب السيليكونى الحبيبى .

شكل (٣٤-١) يوضح اشكالاً مختلفة لقلب ذى الشرائح الملتفة .

- القلب الحلزونى (الدائرى) *(Spiral Type Core)*

هذا النوع يمثل دائرة مغناطيسية مغلقة . ويستخدم فى محولات التيار(Current Transformer)

- القلب المقطوع وغير المقطوع *(Cut or Uncut Cores)*

يستخدم فى المحولات المعلقة بالقرى ، ذات الوجه الواحد ، يكون المقطع على شكل حرف (C)

- القلب المقطوع ذو الاوجه الثلاثة

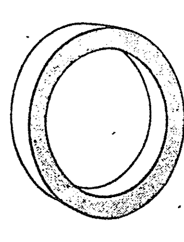
يكون المقطع على شكل حرف (E) ويستخدم فى محولات التوزيع .

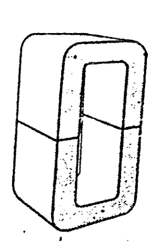
- القلب على شكل حرف *(Y)*

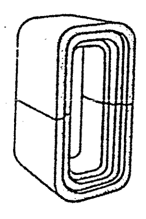
يستخدم بتوسع للمحولات ذات الاوجه الثلاثة ، حيث المفقودات منخفضة جداً .

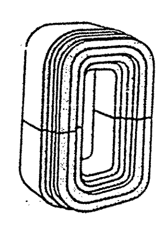
شكل (٣٥-١) يمثل قلب محول توزيع ثلاثى الاوجه ٧٥٠ ك. ف. أ ، ملفه الثانوى ملفوف على الافرع .

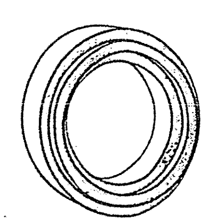
شكل (٣٦-١) يمثل الشكل النهائى لقلب محول قدرة ١٥٠ م. ف. أ. ، ١٣٢ / ٦٦ ك. ف .

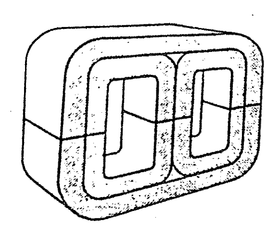

قلب حلزوني

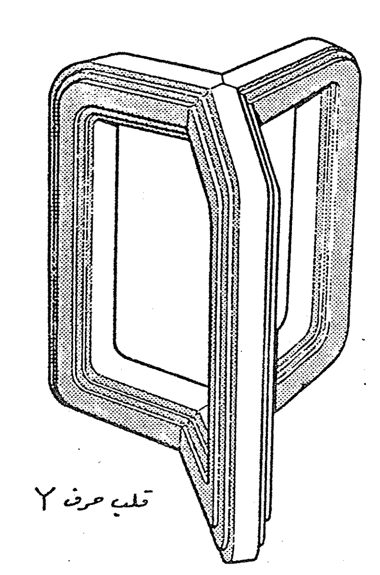

قلب حرف C

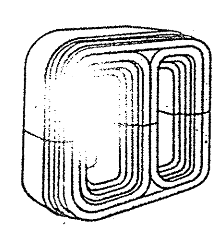

قلب حرف C


قلب حرف C

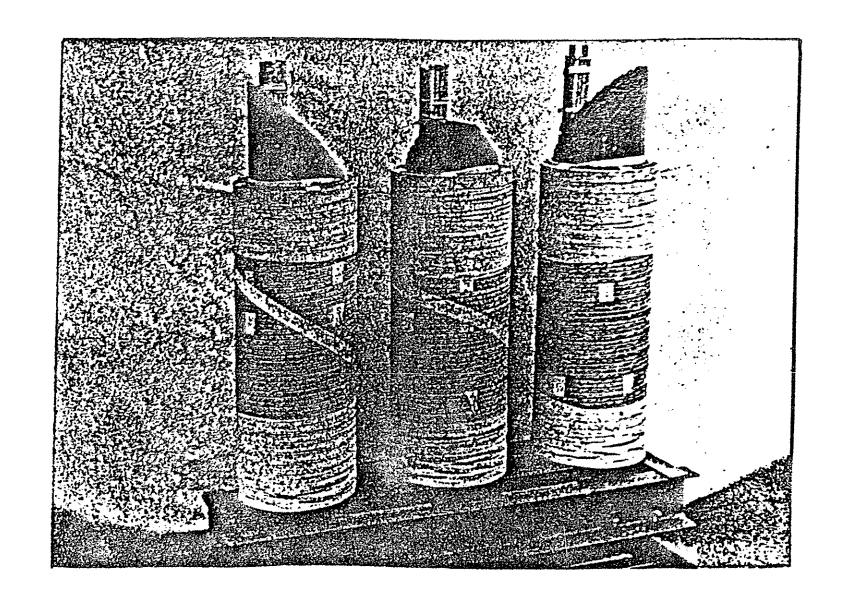

قلب حلزوني


قلب حرف E

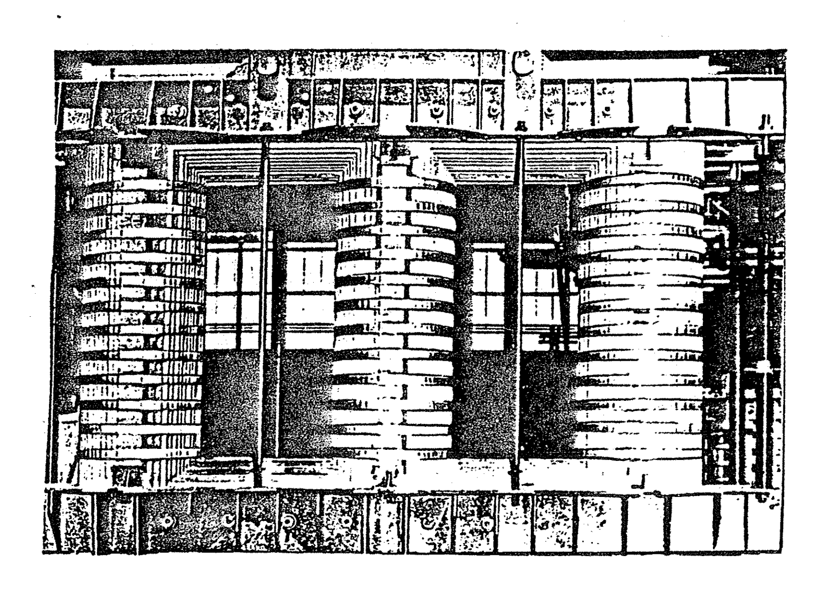

قلب حرف Y


قلب حرف E

شكل (٣٤-١)



شكل (٣٥-١)



شكل (٣٦-١)

الملفات Winding

تقسم الملفات الى نوعين رئيسيين : ملفات متداخلة ، وملفات مركزية

اولاً : الملفات المتداخلة Interleave

الموصلات عبارة عن شريط نحاس ذى مقطع مستطيل أو مربع ، ويمكن استخدام موصل أو أكثر على التوازى ، معتمداً على قيمة التيار.

تشكل اللفات على شكل فطيرة وتسمى (Pancake Coils) . وتستخدم لكل من المحولات ذات القلب أو المحولات الهيكلية . شكل (٣٧-١) يوضح ملف فطيرة مربوطاً بشرائط .

عند تجميع المحول يوضع عازل من الألياف الصناعية (Fiber Insulation) بين الملفات، كما فى شكل (٣٨-١) ، وهذا يسمح بتعريض أكبر سطح من الملفات لوسط التبريد ، وبالتالى يسمح للحرارة بالانتقال من الموصلات الى وسط التبريد ، وبذلك يتغلب على الحرارة الزائدة ، يلاحظ شكل العازل واحتوائه على فراغات على شكل أنابيب لتسمح بمرور الزيت خلالها . حيث أن الملف على شكل فطيرة له مواصفات خاصة فانه يتم لفه على شريط عازل رأسى موضوع على اسطوانة من الورق المقوى . يتم توصيل الملفات بطريقة معينة مكونة الملف الابتدائى أو الملف الثانوى ، مع مراعاة ان يكون القلب والملفات عند التجميع مثبته تثبيتاً قوياً حتى تتحمل القوى الميكانيكية الناشئة عن حالات القصر أو الاهتزازات أو قوى الصدمات أثناء النقل .

ثانياً : الملفات المركزية Concentric

يوجد أربعة انواع من اللفات (Coils) هى :

١ - النوع الحلزونى Spiral Type

٢ - النوع المتراكب Crossover Type

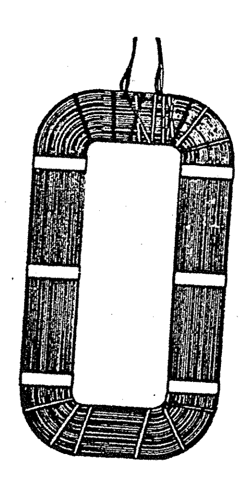
٣ - النوع اللولبى Helical Type

٤ - نوع القرص المستمر Continuous Disc Type

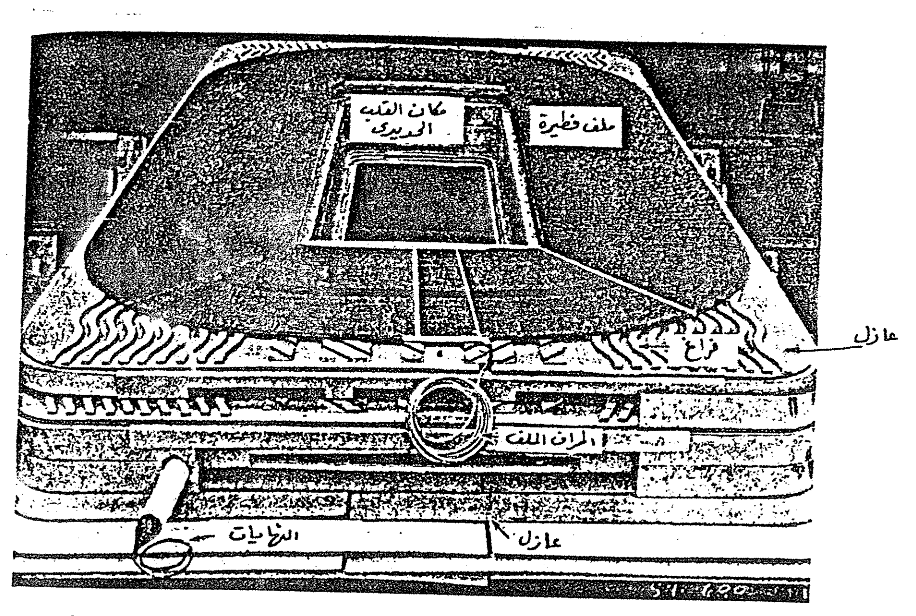
١ - النوع الحلزوى Spiral Type

أو النوع الاسطوانى Cylinderical Type

يعتبر هذا النوع مناسباً للملفات التى يمر بها تيار كهربى عالى جداً ، ولذلك فهو يستخدم للملفات الثانوية (ملفات الجهد المنخفض) ، ويستخدم كذلك للملف الابتدائى اذا



شكل (٣٧-١) ملف فطيرة



شكل (٣٨-١) ملفات على شكل فطيرة بينهما عازل (إنتاج وستنجهاوس)

كان التيار المار به ذا قيمة كافية ، عموماً يستخدم هذا النوع للتيارات أكبر من ١٠٠ أمبير .

المخدات الحلزونية تتكون من طبقات ملفوفة ومستمرة الطول من قمة اللفة الى أسفلها ، وتكون عبارة عن خوصات ذات مقطع مربع أو مستطيل متوازية . تجمع الموصلات على شكل شريط قبل مرورها على المسئول عن لف لفات الملف ، وذلك لغرضين : تجميع ومسك الموصلات معاً قبل عمليات اللف ، وحمايتها من أية انهيارات ، أو أعطال قبل أو خلال عمليات تكوين الملفات . تلف اللفات الحلزونية مباشرة على اسطوانة صلبة معزولة .

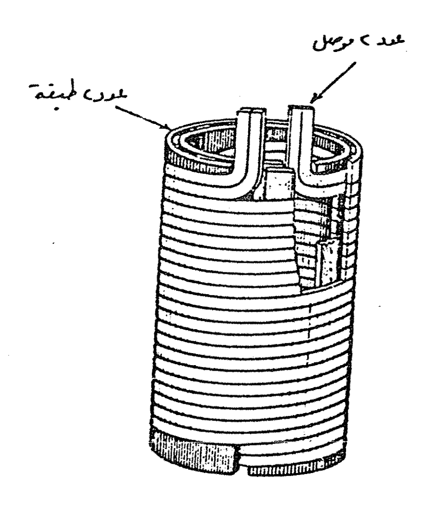
فى نهاية اللفات تترك مسافة من الموصل الملفوف بطول مناسب لعمل وصلات النهاية ، وتكون حافــة المجموعــة أو الحــزمة (Edgeblock) مكونــة من شرائـط متناقصـة تدريجيـاً (Tapered Strips) ملفوفة مع بعضها فى نهاية كل ملف ، وذلك لاعطاء قوة تثبيت ميكانيكى عند التجميع على الساق .

فى المحولات ذات الملفات الاسطوانية يوضع الملف الثانوى (ملف الجهد المنخفض) فوق اسطوانة من الورق المقوى لعزلة من الساق ـ ثم يترك حيز لمرور الزيت كتبريد ، ثم توضع اسطوانة من الورق المقوى كعزل ، أو اى نوع آخر من المواد العازلة الصلبة ، ثم يوضع فوقها الملف الابتدائى (ملف الجهد العالى) .

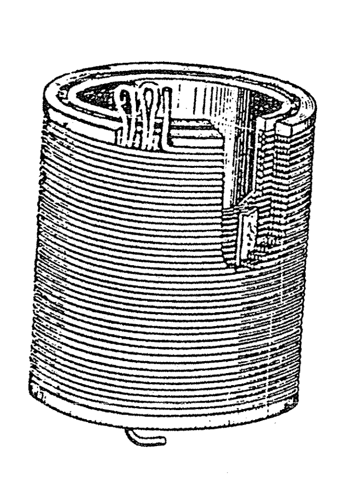
شكل (٣٩-١) يمثل أبسط أنواع اللفات الاسطوانية ذات طبقتين ،وبمقطع مستطيل يحتوى على مواسير زيت للتبريد ، اللفات متجاورة ومتلامسة مع بعضها . ومن عيب هذا النوع ضعف المتانة الميكانيكية ، يستخدم لملفات الجهد المنخفض ويوضح الشكل عدد اثنين موصل لكل لفة .

شكل (٤٠-١) يمثل ملفات اسطوانية ذات طبقات متعددة الموصلات ذات مقطع دائرى ، وتحتوى أيضاً على مواسير زيت للتبريد . بين كل اسطوانة والأخرى توجد أسطوانة من الورق العازل المقوى ، يستخدم هذا النوع لكل من الملفين الابتدائى والثانوى وللجهود حتى ٣٥ ك. ف .

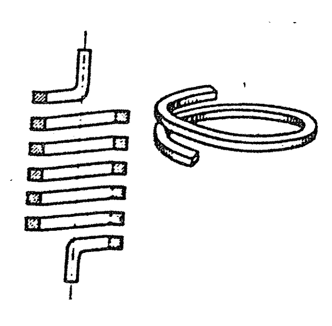
وتستخدم الملفات الحلزونية (Spiral Winding) فى المحولات ذات القدرات المتوسطة ، فى الشكل (٤١-١) يتكون الملف من لفات متعددة تلف على اسطوانة مغطاة بمادة عازلة ، ويمكن أن تترك مسافات بين اللفات لمواسير التبريد . اللفة فى الملفات الحلزونية تتكون من عدد من الموصلات متوازية ، تلف بحيث تكون أسطحها متلامسة فى اتجاه شعاعى . يوضح



شكل (٣٩-١)



شكل (٤٠-١)



شكل (٤١-١)



شكل (٤٢-١)

شكل (٤٢-١) ملفاً حلزونياً ذا طبقتين أما شكل (٤٣-١) فيوضح ملفاً حلزونياً ذا موصلات متعددة متوازية فى كل لفة ، مع وجود فواصل عازلة بين كل لفة للتهوية ، أو لمرور سائل التبريد .

لتنظيم تقسيم التيار بين الموصلات المتوازية ، يجب أن تتبادل الموصلات الأوضاع، بحيث يأخذ كل موصل جميع الاوضاع المحتملة .

شكل (٤٤-١) يوضح تبادل وضع الملفات الحلزونية ، ففى شكل (٤٤-١)أ نجد تبادل مجموعة من الموصلات مع مجموعة أخرى ، أما فى شكل (٤٤-١) ب فقد استخدمت الطريقة العامة للتبادل ، حيث يتم فيها تبادل موصل واحد مع موصل آخر .

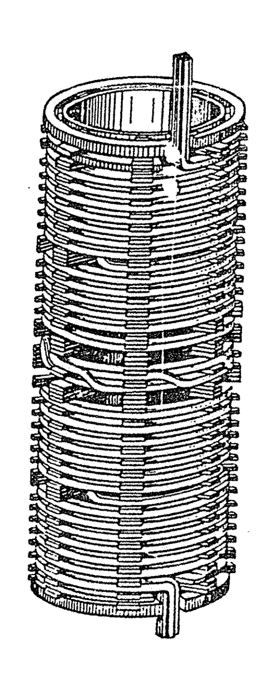
شكل (٤٥-١) يوضح طريقة تبادل الوضع لمجموعة مكونة من أربعة موصلات على التوازى ، وبها تبادل الموصلات بحيث أخذت جميع الاوضاع المحتملة . وفى الصناعة امكن عمل ملفات بعدد ٢٤ موصل توازى أو اكثر ، وتستخدم هذه الطريقة لعمل ملفات الجهد المنخفض التى يمر بها تيار عالى جداً .

٢ - النوع المتراكب *Crossover Type*

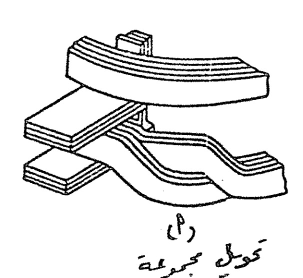
هذا النوع يناسب الملفات التى يمر بها تيار حتى ٢٠ أمبير ، ويستخدم بتوسع فى ملفات الجهد العالى (الملف الابتدائى) ، بمحولات التوزيع ، وتستخدم موصلات عبارة عن سلك ملفوف أو سلك شرائط معزول بورق عازل . الملف الكامل يتكون من عدد من المخدات (Coils)تحتوى على عدد من اللفات . بين كل فخدة واخرى يوضع عازل من الورق يغلف هذا العزل حول نهاية لفة المخدة ، وهذا يساعد على حفظ مكونات الملف مضغوطه تتصل هذه المخدات *(Coils)* عادة على التوالى .

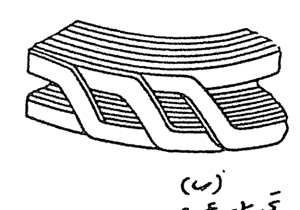
تترك بين كل مخدة وأخرى مسافة تعرف بقطاعات عزل الوصل *(Insulating Key Sectors)* ، ويتم الربط بين المخدات فى هذا الفراغ ، ويتراوح الطول المحورى لكل مخدة من ٧٥ مم الى ١٠٠ مم ، تعتمد على قيمة الجهد وعمق الملفات ، بينما تكون المسافة المتروكة بين كل مخدتين حوالى ٦ مم ، وقد تزيد تبعاً لقيمة الجهد .

شكل (٤٦-١) يمثل مخدة عبارة عن عدد من اللفات من نوع المتراكب،بينما شكل (٤٧-١) يوضح ملفاً كاملاً مكوناً من عدد ٦ مخدات متصلة على التوالى .

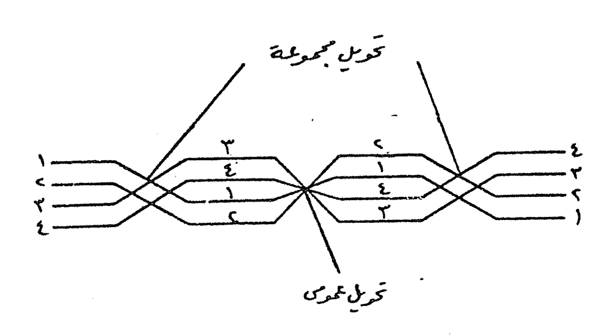


شكل (٤٣-١)

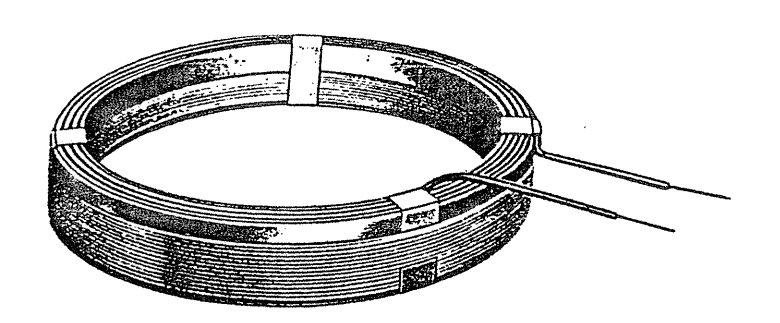




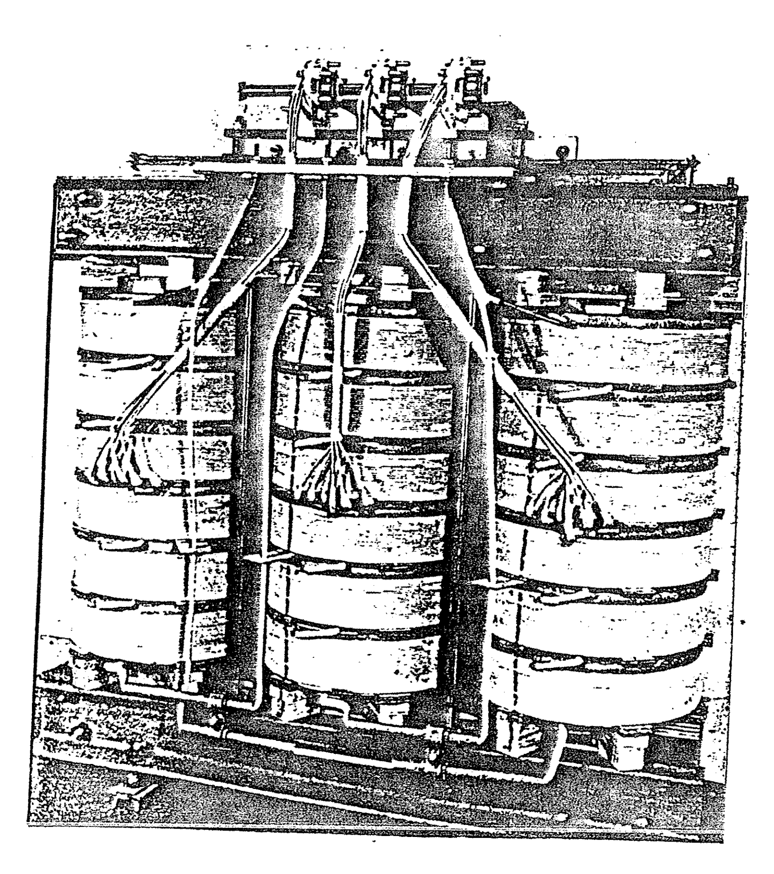
شكل (٤٤-١)



شكل (٤٥-١)



شكل (٤٦ - ١)



شكل (٤٧-١)

٣ – النوع اللولبى *Helical Type*

تلف الملفات فى هذا النوع كاللولب ، والموصلات عبارة عن عدد من الخوص (الشرائح) ذات المقطع المستطيل ملفوفة على التوازى فى اتجاه القطر ، كل لفة تشغل حيزاً فى اتجاه نصف القطر ، وبذلك يمثل مجموع سمك اللفات فى اتجاه نصف القطر عمق الملف . تنحصر قيمة التيار المار بالملفات فى النوع اللولبى بين قيمة التيار المارة بالملف الحلزونى وقيمة التيار المارة بالملف ذى الاقراص المتعددة.

تلف كل لفة على التوالى مع اللفة التالية ، مع ترك فاصل بينهما ، لمرور مواسير الزيت ، بينما تترك كل مجموعة من الملفات قطاعات فصل *(Radial Key Sectors)* ، وتكون مواسير الزيت اما رأسية أو أفقية تتخلل اللفات ومجموعات اللفات .

يكون هذا النوع من الملفات مناسباً للجهد المنخفض للمحولات ذات الجهود ١١ ك. ف ، ٣٣ ك . ف .

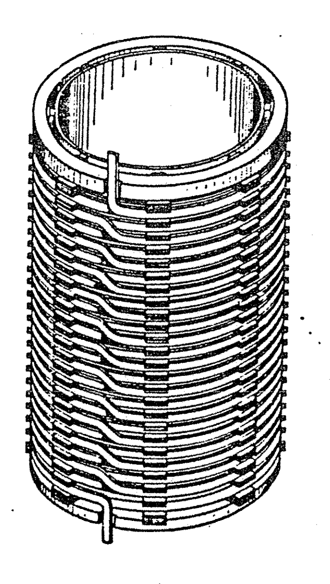
٤ – نوع القرص المستمر *Continuous Disc Type*

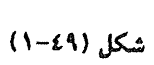
هذا النوع من الملفات عبارة عن عدد من الاقراص ملفوفة ومستمرة ، والموصلات عبارة عن سلك أحادى أو عدد من الاسلاك المتوازية .

كل قرص عبارة عن عدد من اللفات ملفوفة فوق بعضها . شكل (٤٨-١) يمثل ملفات ذات اقراص مستمرة أحادية ، حيث تكون الموصلات ملفوفة على أسطوانة معزولة . وللتأكد من انتظام توزيع التيار بالملف ، يلزم اجراء تبادل للفات على مراحل ، شكل (٤٩-١) يوضح ملفاً ذا أقراص مستمرة ، وهو عبارة عن عدد من الاقراص لاتوجد بها أية نقط لحام .

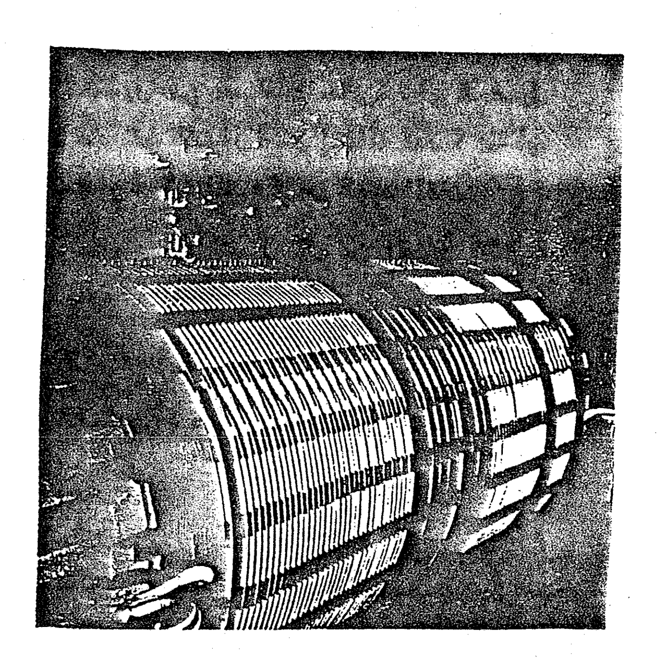
شكل (٤٩-١) يوضح ملفاً ذا اقراص ، وهو عبارة عن عدد من الأقراص لاتوجد به أية نقط لحام .

شكل (٥٠-١) أ يوضح جزءاً من قرص ملفوف بعدد ٢ لفة ، حيث يكون فى كل لفة موصلان على التوازى معاً .

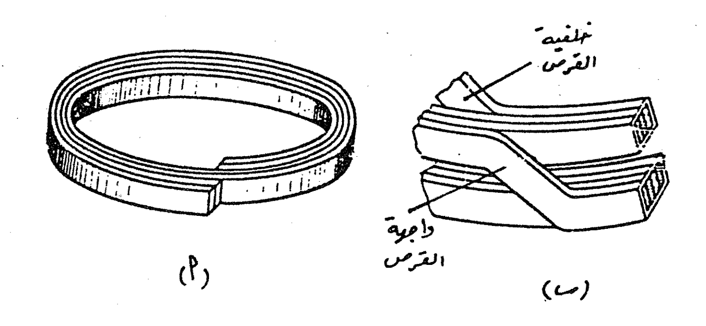




شكل (٤٩-١)



شكل (٤٨-١)



شكل (٥٠-١)

شكل (٥٠-١) ب يوضح التداخل بين الأقراص عند عمليات اللف ، وتكون الملفات فى هذا النوع مناسبة لعمل نقط تقسيم عليها للحصول على عدد لفات متغيرة ، اى للحصول على جهد متغير ، واذا تم عمل نقط تقسيم عند نقط التداخل أمكن إضافة عدد ٢ لفة أى عدد ٢ قرص ، وهى تمثل تغيراً فى الجهد بمقدار ٢,٥ ٪ الى ٥ ٪ من الجهد المقنن .

الملفات ذات القرص المستمر تستخدم بتوسع فى تشكيل كل من الملفات الثانوية والابتدائية ، حيث انها تتميز بقوة ميكانيكية عالية .

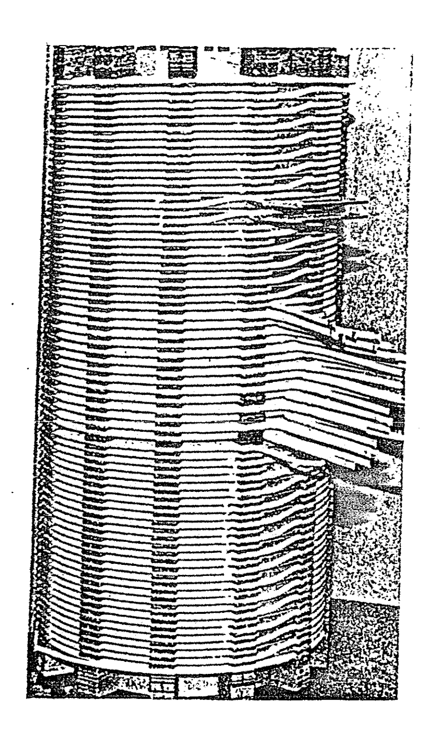
شكل (٥١-١) يوضح الشكل العام لملف قرص مستمر .

شكل (٥٢-١) يوضح الشكل النهائى لملف لولبى بموصلات متعددة ، يحتوى على نقط تقسيم .

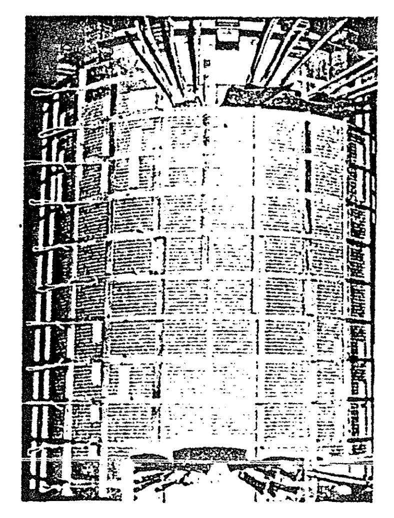
وعلى ذلك يمكن تمثيل الملفات المركزية بشكل بسيط ، كما فى شكل (٥٣-١) . ويعتمد

نوعية الاستعمال	القـــدرة (م. ف. أ.)	ملفات الجهد العالى		ملفات الجهد المنخفض	
		الجهد (ك.ف.)	النـــوع	الجهد (ك.ف.)	النـــوع
التوزيع Distribution	حتى ١	١١ - ٣٣	- لفائف ألمونيوم - المتراكب - طبقات متعددة	,٤٣	لولبى
النظام System	١ - ٣٠	٣٣ - ٦٦	قرص	١١	- قرص - لولبى
النقل Transmission	٣٠ وأعلى	١٣٢ - ٥٠٠	- قرص - طبقات متعددة	١١ ، ٣٢ ، ٦٦	- قرص -قرص/لولبى
التوليد Generation	٣٠ وأعلى	١٣٢ - ٥٠٠	- قرص - طبقات متعددة	١١ ، ٢٢	قرص/ لولبى

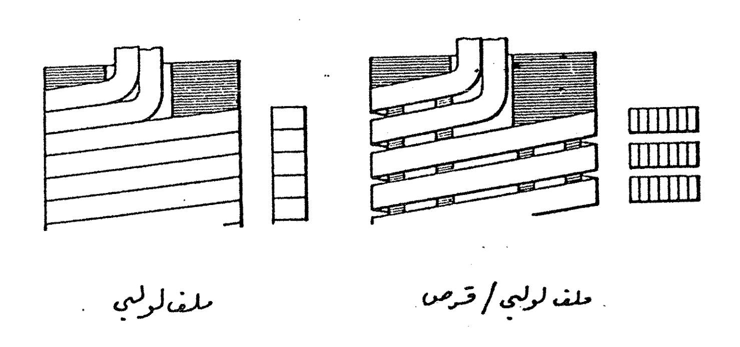
جدول (١-١)

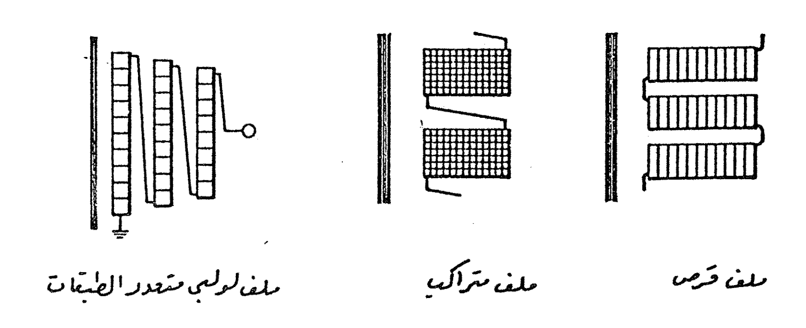


شكل (١-٥١)



شكل (١-٥٢)





شكل (٥٣-١) أنواع مختلفة من الملفات المركزية (المحورية)

اختيار نوع الملفات على القدرة والجهد المقنن . جدول (١-١) يوضح نوع ملفات الجهد العالى ، وملفات الجهد المنخفض ، الشائعة الاستعمال

الخصائص الكهربائية للموصلات (*Conductors*) المستخدمة فى الملفات

تكون الموصلات المستخدمة فى الملفات أما من النحاس أو الالومنيوم جدول (٢-١) يوضح هذه الخصائص

جدول(٢-١)

نوع الموصل	المقاومة النوعية (ρ) ميكرو أوم ـ م	معامل زيادة المقاومة بالحرارة (α) لكل درجة مئوية	الكثافة (δ) (الوزن النوعى) كجم / م٣
نحاس مخمر	٠,٠١٧٢	٠,٠٠٣٩٣	٨٩٠٠
نحاس مسحوب صلد	٠,٠١٧٨	٠,٠٠٣٩٠	
الونيوم مصبوب	٠,٠٤٥	٠,٠٠٣٩٠	٢٧٠٠
الونيوم مسحوب صلد	٠,٠٣٢٥	٠,٠٠٣٩٠	

من الخصائص الكهربائية الهامة الفقد الحرارى (I^2R) فى الموصلات ، فمثلاً عند درجة حرارة ٧٥°م ، وكثافة توزيع التيار ٥ ميجا أمبير / م٢ (أو ٥ أمبير / مم٢)

فى حالة نحاس مسحوب صلد

الفقد = ٥٤٠ ك.وات / م٢

= ٦١ وات / كجم

فى حالة الونيوم مسحوب صلد

الفقد = ٩٩٠ ك.وات / م٢

= ٣٦٥ وات / كجم

تجميع القلب وملفاته

يتم تجميع القلب والملفات ليكونا الجزء الأساسى فى المحول وسنعرض فيما يلى بعض الامثلة :

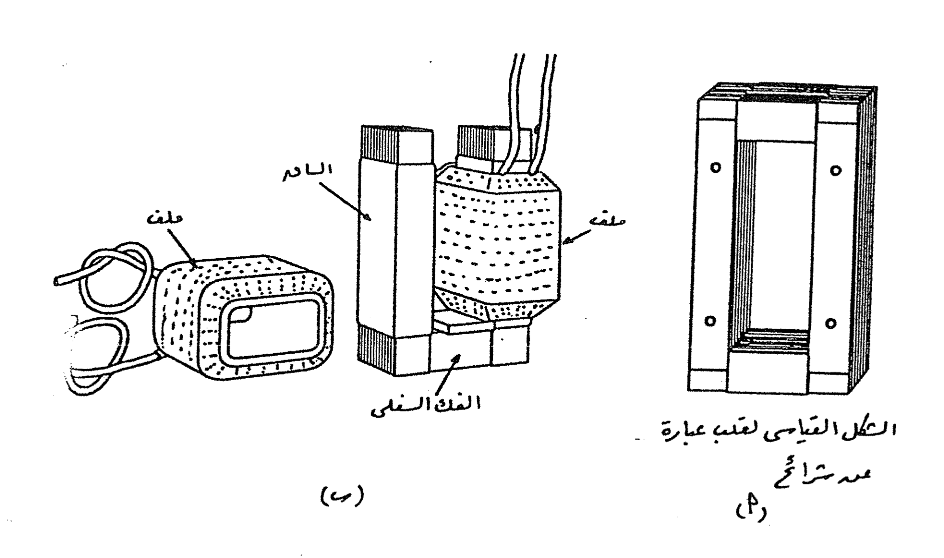
(أ) شكل (٥٤-١) يوضح طريقة مبسطة جداً لتجميع محول أحادى الوجه من النوع ذى القلب (*Core Type Transformer*)

شكل (٥٤-١) أ يوضح الشكل القياسى للقلب مكون من شرائح رقيقة من الصلب . شكل (٥٤-١) ب يوضح القلب بدون الفك العلوى ، وقد تم تركيب أحد الملفات على الساق اليمنى ومازالت الساق اليسرى بدون الملف الأخر ، الموجود بجوار المحول . ثم وضع لوح عازل فوق الفك السفلى ، فى شكل (٥٤-١) جـ ثم تركيب الملف على الساق اليسرى . ووضع لوح عازل بين الملفين . ومازال بجوار المحول الفك العلوى ولوح عازل .

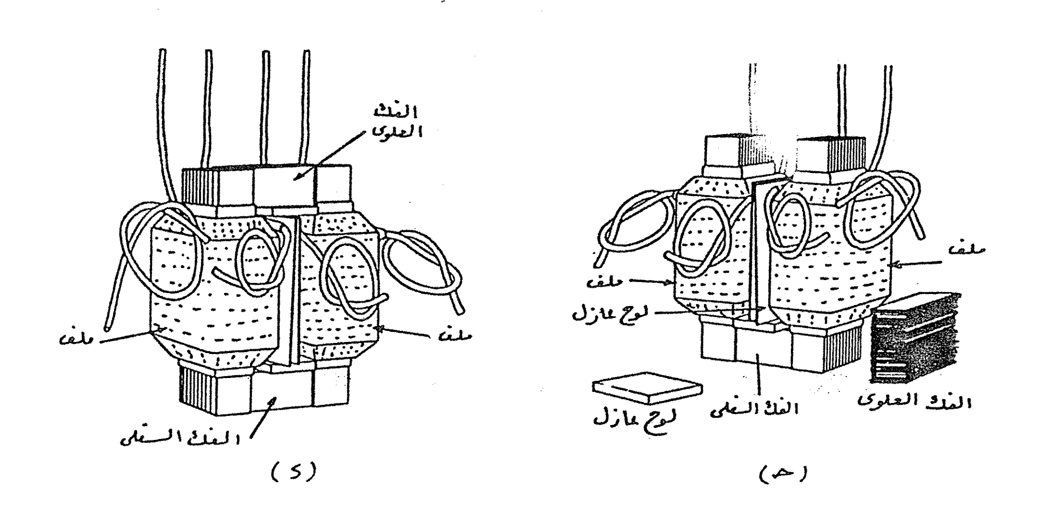
فى شكل (٥٤-١) ء تم تركيب لوح عازل أسفل الفك العلوى ، ثم تم تركيب الفك العلوى ، وأصبح المحول جاهزاً للتركيب داخل الخزان .

شكل (٥٥-١) يوضح محولاً ذا قلب من النوع ثلاثى الاوجه (انتاج وستنجهاوس) .

(ب) شكل (٥٦-١) يوضح نوعاً قياسياً (*Standard Type*) معدلاً من المحولات ذى القلب ، وفيها يكون القلب على شكل حرف (*H*) ، واحياناً يسمى النوع ذو القلب الموزع (*Type H Transformer or Distributed Core Type Transformer*) يتم فى هذا النوع استخدام قلب ذى مقطع مستطيل ، من النوع كبير الحجم الموضح فى شكل (٥٦-١) أ ، حيث يتم تقسيمه الى اربعة اجزاء ، لتكون الدائرة المغناطيسية على شكل حرف (*H*) ء ويكون الشكل منظوراً من أعلى مثل الصليب. فى هذا النوع يكون تسرب الفيض صغيراً جداً ، نتيجة أن الملفات كلها موضوعه على الساق المركزية ، بحيث تتشابك على قدم المساواه مع الفيض المغناطيسى ، الذى يمر فى أربعة سيقان جانبية . يتكون المحول من عدد ٢ ملف جهد عالى (يحتوى كل منها على نصف عدد لفات الجهد العالى) ، وعدد ٢

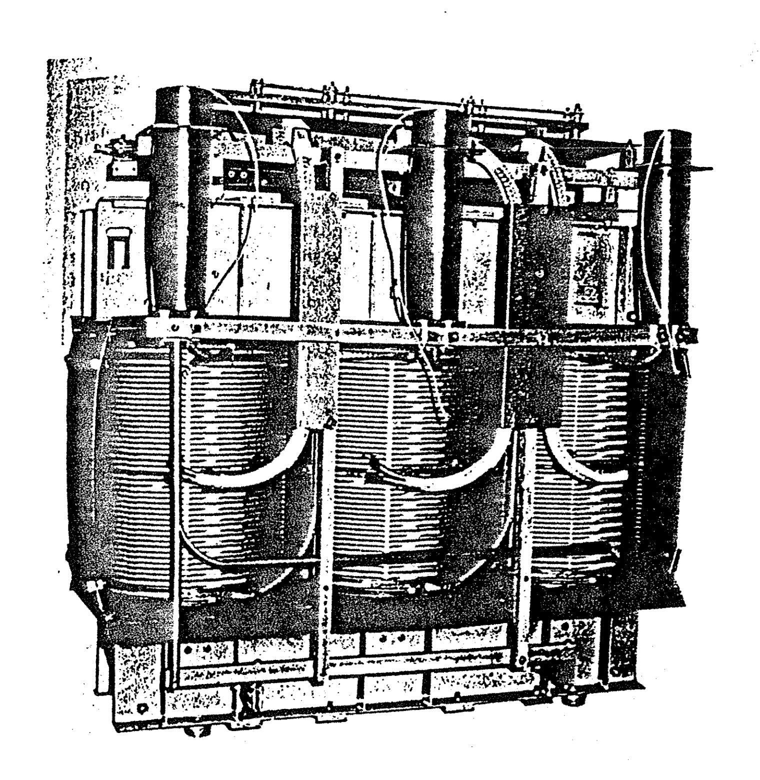


القائم
ملف
ملف
الفك السفلى
الشكل القياسى لقلب عبارة عن شرائح
(ب)
(أ)

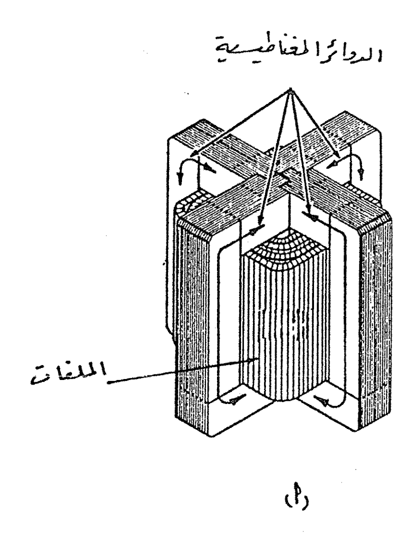


الفك العلوى
ملف
ملف
الفك السفلى
(د)
ملف
ملف
لوح عازل
لوح عازل
الفك السفلى
الفك العلوى
(جـ)

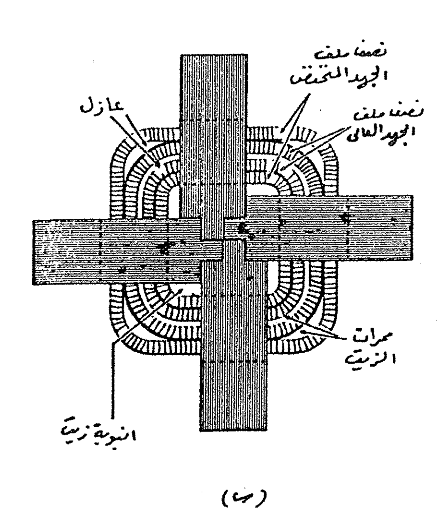
شكل (٤٥-١)



شكل (٥٥ - ١) محول ثلاثي الاوجه من نوع ذي القلب (إنتاج وستنجهاوس)



(أ)



(ب)

شكل (٥٦ - ١) محول ثلاثى الاوجه ذو قلب على شكل حرف H

ملف جهد منخفض (يحتوى كل منها على نصف عدد لفات الجهد المنخفض) ، ويكون ترتيبهم كما فى الشكل . يتم وضع عزل بين كل نصف من الملف الابتدائى ، ونصف الملف الثانوى ، وتترك مسافة بين انصاف الملفات للسماح لتيارات الزيت بالمرور من أسفل المحول الى أعلاه (بفعل التأثير الحرارى) ، حيث يعتبر الزيت وسط تبريد جيد ، ويستخدم هذا النوع بتوسع فى محولات التوزيع .

(جـ) شكل (٥٧-١)أ يوضح مقطع فى محول احادى من النوع الهيكلى *(Shell Type Transformer)*، فى هذا النوع يكون الفيض المتسرب اقل ما يمكن لأن الملفات ملفوفة على الساق المركزية (الوسطى) والملفات محاطة بالقلب من الخارج . فى محولات القدرة الكبيرة تكون الملفات الابتدائية والثانوية ملفوفة على شكل فطيرة *(Pancake Coils)* كما هو واضح فى الخطوات فى الاشكال (٥٧-١) ب،جـ،د،هـ . شكل (٥٨-١) يوضح وضع ملفات على شكل فطيرة لمحول ذى قدرة كبيرة صناعة امريكية (تحت الانشاء) .

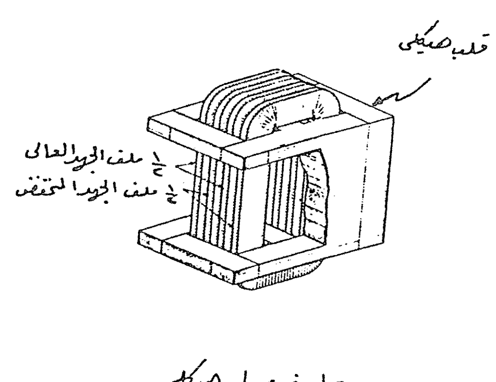
(د) شكل (٥٩-١) يوضح محول توزيع أحادى الوجه ذى قلب ، مقطع على شكل حرف *(C)*، بشرائح ملتفة باستخدام صلب سيليكونى حبيبى - تم تركيب الملفات على السيقان وعزل الاطراف - والمحول مجهزاً للتركيب فى الخزان .

العازلات *Bushing Insulators*

يعرف العازل بأنه دعامةلموصل كهربى غير موصلة للكهرباء - يتم عن طريقها توصيل نهاية الملف الى خارج جسم المحول . ويتكون العازل من جسم بورسلين خارجى ، يمكن أن يكون معرجاً ، أو مسطحاً ، على حسب قيمة جهد التشغيل ومكان تركيب المحول (داخل المبنى أو خارج المبنى) . وفى حالة الجهود العالية والفائقة تضاف مواد عازلة اضافية مثل الزيت ، أو الورق المضغوط ، داخل الجسم الخارجى المصنوع من البورسلين ، ويعتمد حجم العازل على : الجهد - التيار - مسار الزحف ، فعند اختيار العازل يجب مراعاة الخصائص الحرارية السطحية ، ويجب أن يكون متجانساً وخالياً من العيوب .

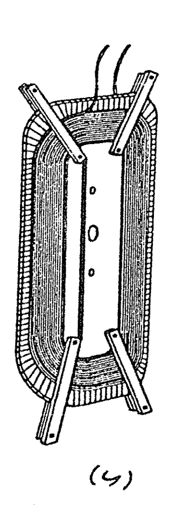
أ - عازلات البورسلين الصلبة *Solid Porcelain Bushings*

غالباً ما تستخدم للجهود المنخفضة ، وتركب داخل المبنى أو خارج المبنى ، الاختلاف بينهما مسافة الزحف للعازل (هى أقصر مسافة او مجموع أقصر مسافات على أمتداد أسطح الاجزاء العازلة للعازل والتى تكون عادة معرضة لجهد التشغيل) .

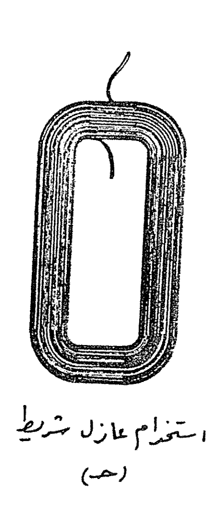


مقطع فى محول هيكلى

(أ)

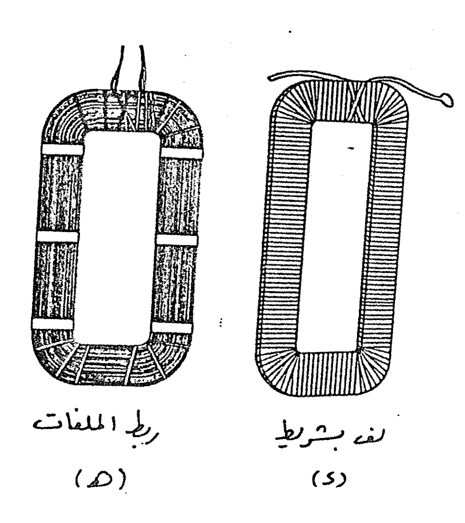


(ب)



استخدام عازل شريط

(حـ)



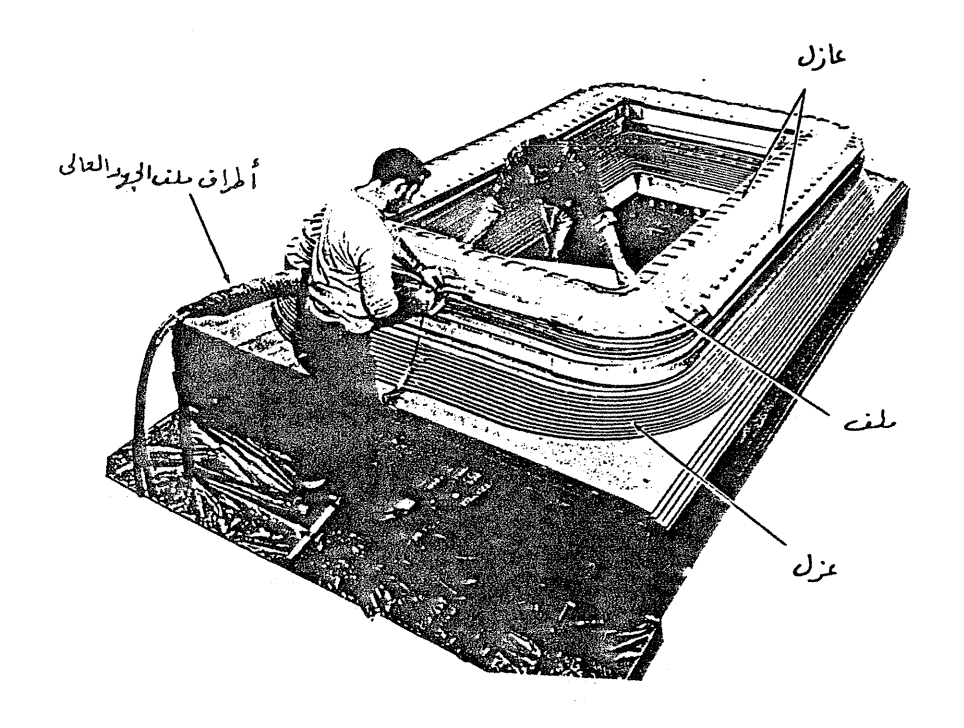
لف بشريط

(د)

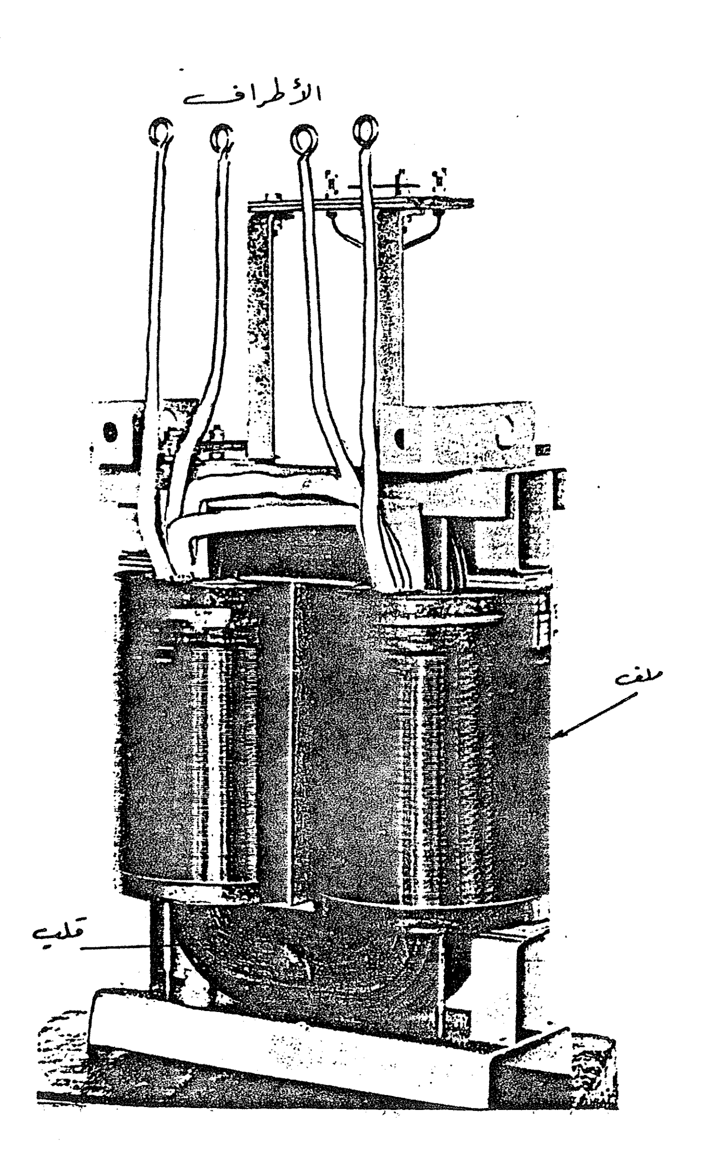
ربط الملفات

(هـ)

شكل (٥٧-١)



شكل (٥٨-١) جزء من تجميع ملفات على شكل فطيرة لملف جهد عالى لمحول هيكلى (إنتاج وستنجهاوس)



شكل (٥٩-١)

شكل (٦٠-١) يوضح عازلاً ذا حافة (Flanged Bushings) يركب داخل أو خارج المبنى للجهود بين ٢٣٠ - ٥٢٥ ڤولت .

شكل (٦١ -١) يوضح عازلاً من جزئين : هيكل علوى وهيكل سفلى ، حيث يدخل الجزء السفلى بالعلوى ، ويصبحان كتلة عازلة واحدة تسمح بمرور طرف نهاية الملف ، دون تلامس مع جسم المحول . ويركب هذا النوع للجهود حتى ٥٢٥ ڤولت ـ داخل مبنى .

(ب) عازلات مملوءه بالزيت *Oil Filled Bushings*

وهذه تستخدم للمحولات المركبة داخل أو خارج المبنى ، ويكون العازل عبارة عن مادة بورسلين مملوء بالزيت ، ويحتوى على قضيب موصل مركزى أو أنبوبة يمر بها الموصل .

شكل (٦٢-١)أ يوضح عازل بورسلين يستخدم مع محول للتركيب داخل المبنى . جهد التشغيل ١٠ ك. ف ، والتيار ٤٠٠ أمبير .

شكل (٦٢-١) ب يوضح عازل بورسلين يستخدم مع محول للتركيب خارج المبنى . جهد ١٠ ك. ف.، والتيار ٤٠٠ أمبير .

شكل (٦٣-١) أ يوضح عازل بورسلين جهد التشغيل ٣٥ ك.ف.

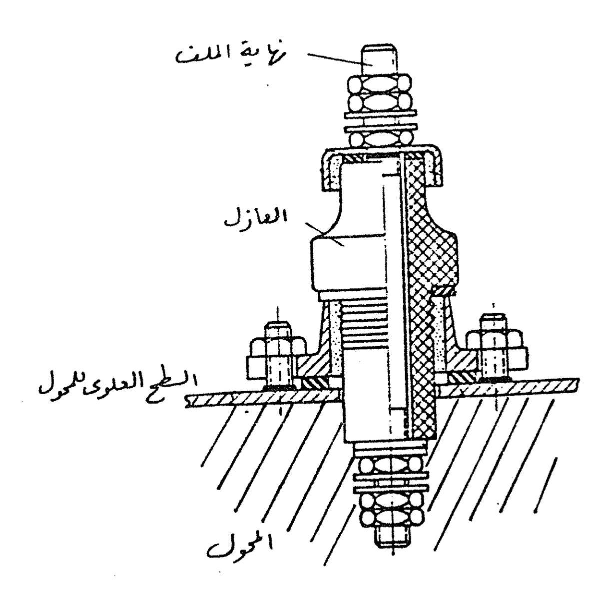
شكل (٦٣-١) ب يوضح عازل بورسلين قابل للفك جهد التشغيل ٣٥ ك. ف. أحياناً يحتوى العازل من الداخل على حواجز عازلة متوالية بينها مسافات تسمح بمرور الزيت كذلك يحتوى على زجاجة بيان لتوضيح مستوى الزيت داخل العازل ، كما فى شكل (٦٤-١) .

(جـ) عازلات من نوع المكثف *Condenser Type*

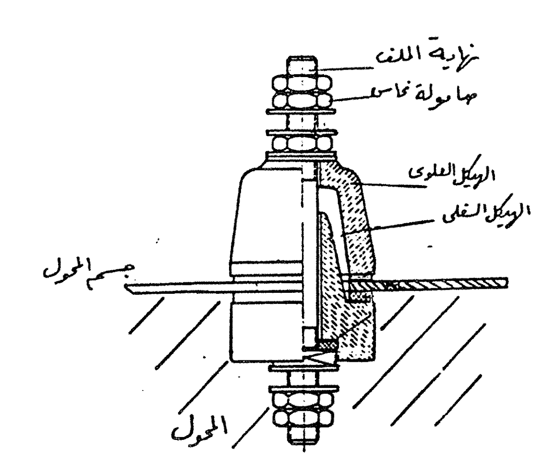
تستخدم لمحولات الجهد العالى للتركيب داخل المبنى أو خارجه . العازل عبارة عن جسم من البورسلين بداخله قضيب موصل مركزى ، يحاط بطبقات متبادلة من مادة عازلة ، مع رقائق من القصدير أو الالومنيوم ، تعمل كما لو كانت مكثفات متصلة على التوالى بين الموصل المركزى وبين جسم العازل . شكل (٦٥-١) يوضح مقطع فى الجزء الداخلى لعازل مكثف موضحاً به الرقائق المعدنية وورق مشرب بالزيت .

يمكن أن يكون جسم العازل الخارجى ، المصنوع من البورسلين ، عبارة عن جزء واحد ، أو اجزاء متعددة ، يتم تجميعها بواسطة وصلات (حلقات) محكمة *(Tight Seals)*.
يمكن أن يكون العازل الداخلى من النوع الجافه ، أو النوع المشرب بالزيت أو الراتنج .

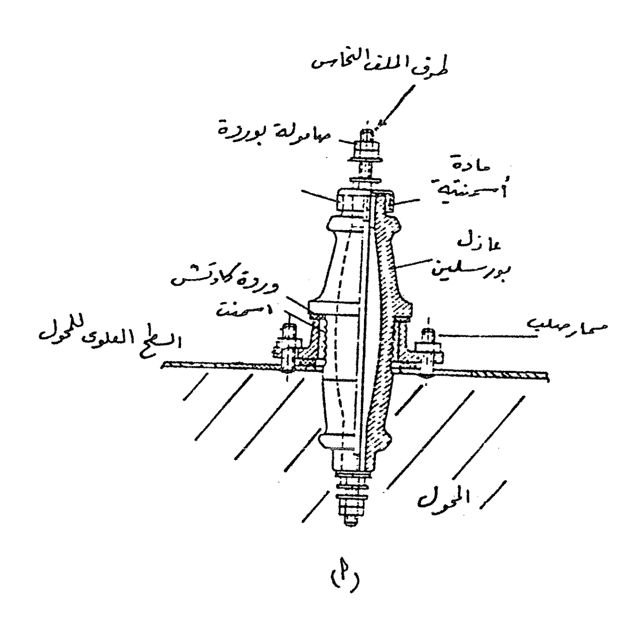
عند تصنيع العازل يجب التأكد من معدل انحدار الجهد (Electric Gradient)، حتى لا

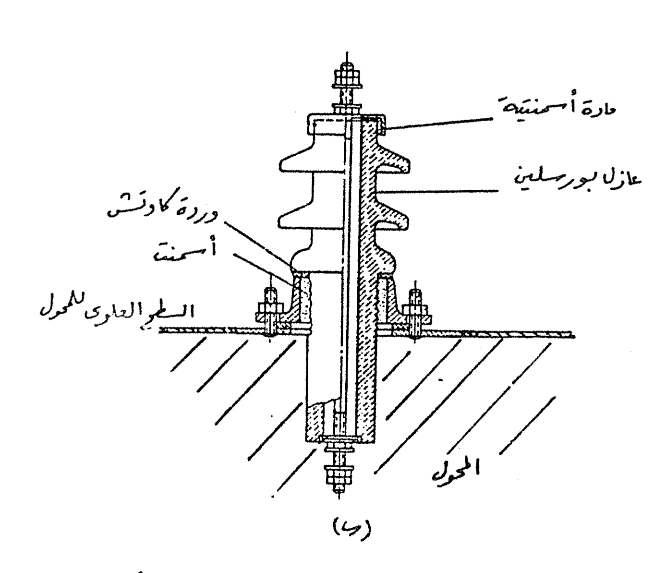


شكل (٦٠-١) عازل للجهود فى حدود ٢٣٠ - ٥٢٥ ڤولت

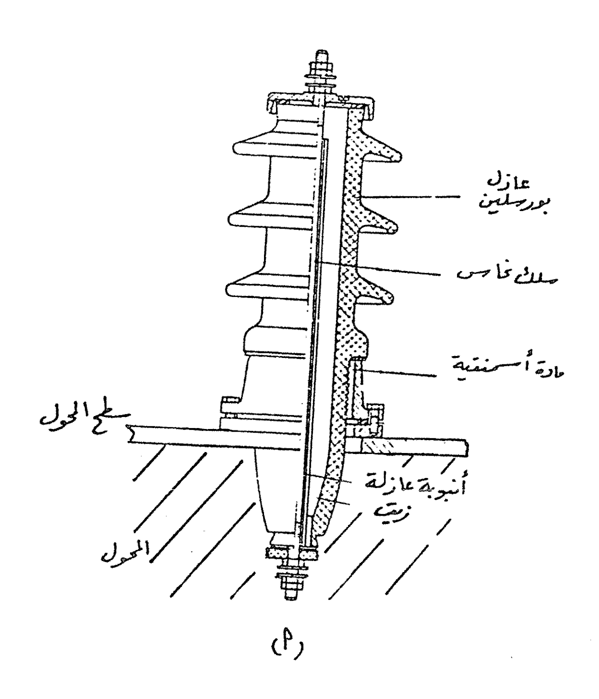


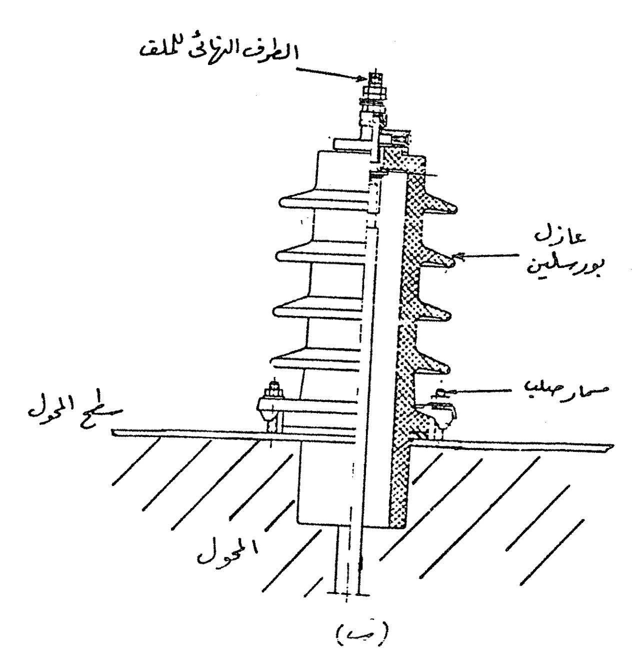
شكل (٦١-١) عازل للجهود حتى ٥٢٥ ڤولت



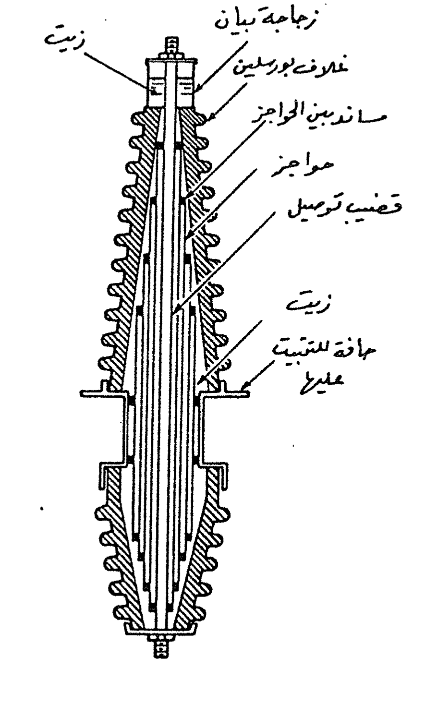


شكل (٦٢-١) عازل جهد ١٠ك.ف ، تيار ٤٠٠أمبير

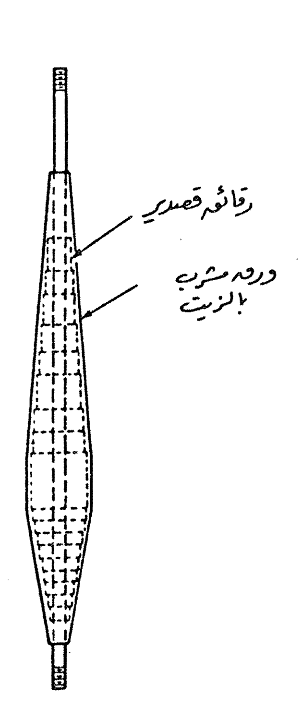




شكل (٦٣-١) عازل جهد ٣٠ ك.ف.



شكل (٦٤-١) عازل يملاء بالزيت



شكل (٦٥-١) قلب عازل من نوع المكثف

يتعرض العازل لاجهادات زائدة .

شكل (٦٦-١) يوضح مكونات عازل مكثف ، بعازل داخلى مشرب بالزيت ويحتوى على محول تيار .

(د) صندوق ربط الكابل *The Cable Boxe*

احياناً يتم تجهيز المحولات بصندوق ربط كابل يجهز للربط بين طرف النهاية من خرج العازل وبين بوطة نهاية كابل ويكون الصندوق مملوء بالزيت أو المخلوط *(Compound)*، معتمداً على قيمة الجهد .

شكل (٦٧-١) أ يوضح تمثيل لبوطة نهاية الكابل وصندوق الربط وعازل المحول . يجهز الصندوق بغطاء للكشف فى حالة حدوث أى أعطال للمعدات داخل الصندوق . شكل (٦٧-١) ب يوضح الشكل التفصيلى لمحتويات صندوق الكابل .

(هـ) عوازل غاز سادس فلوريد الكبريت *SF6*

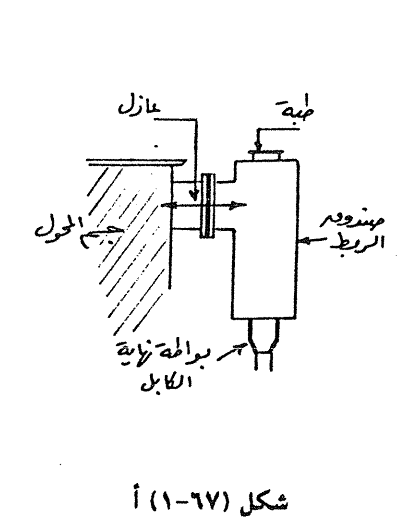
للجهود العالية والفائقة يصعب استخدام عوازل مكثف أو استخدام صندوق ربط كابل لأن أحجامها كبيرة جداً بالنسبة لجهد التشغيل ، وصغر الحيز المتاح ، ولذا يستعاض عنها باستخدام عوازل غاز *(SF6)* ذات الاحجام المناسبة .

وتوجد طريقتان لاسخدام هذه العوازل

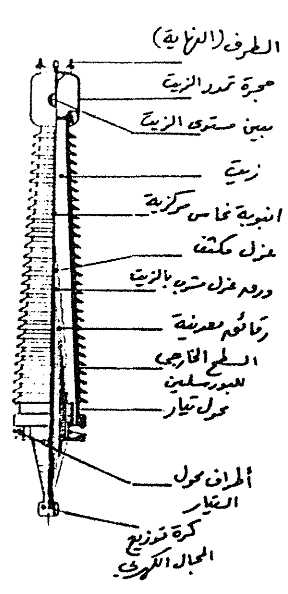
- تكون الانشاءات الخارجة من المحول مثل القضبان والعوازل فى خلية معدنية *(Metal Clad)*، تحتوى على غاز *(SF6)* سادس فلوريد الكبريت . فى هذه الحالة يتم عمل نظام معين للربط بين عازلات المحول ، والموجودة فى الزيت ، وبين التوصيلات الخارجة فى ماسورة معزولة ومملوءة بغاز *(SF6)* تحت ضغط (حوالى ٤ بار أى أربعة أمثال الضغط الجوى) .

شكل (٦٨-١) يوضح عازل زيت / زيت .

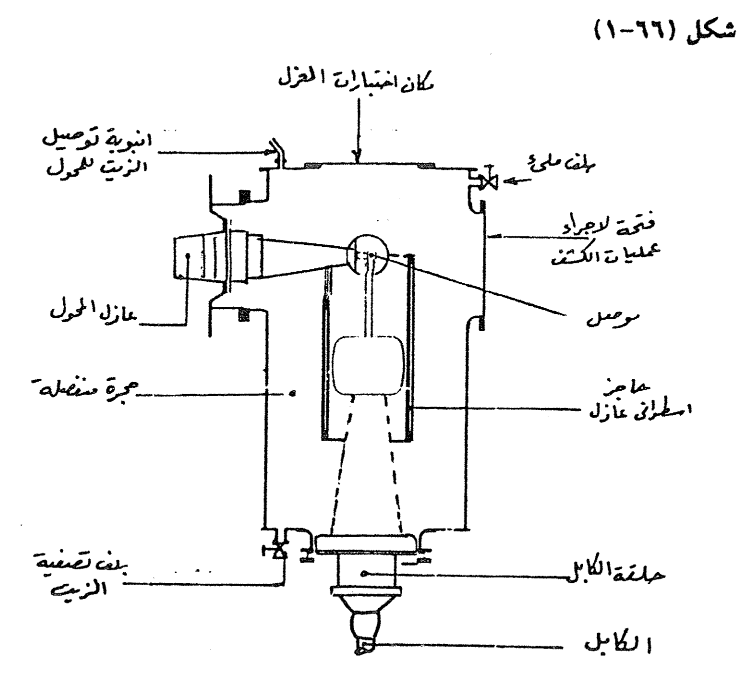
- اذا كانت كابلات الخروج من النوع الزيتى ، وبدلاً من استخدام صندوق مملؤ بالزيت يستخدم صندوق مضغوط بغاز *(SF6)* ، ويكون هذا النوع أقل حجماً ، ويمنع مخاطر استخدام صندوق الزيت . تستخدم موانع تسرب من نوع خاص لمنع أى تسرب بين الزيت



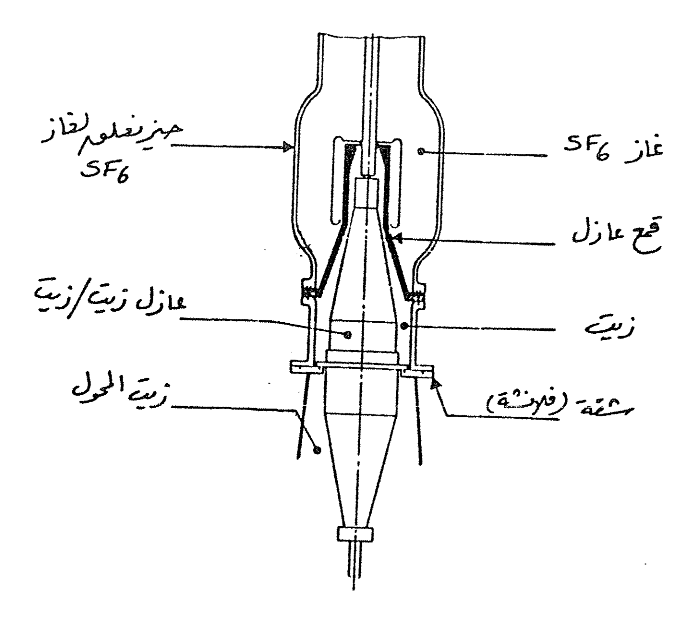
شكل (٦٧-١) أ



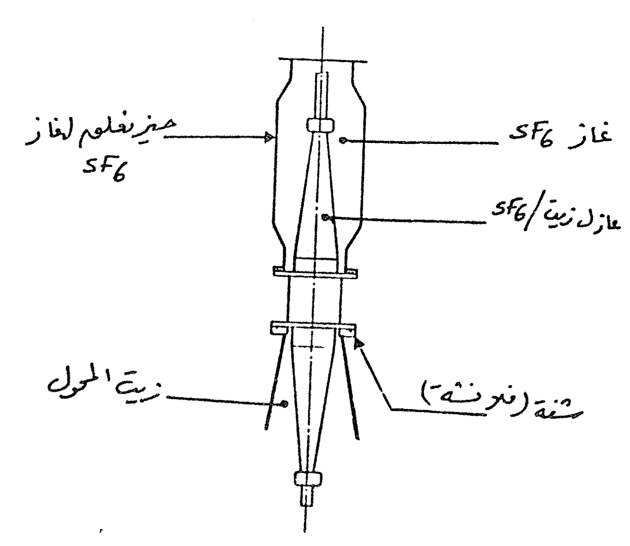
شكل (٦٦-١)



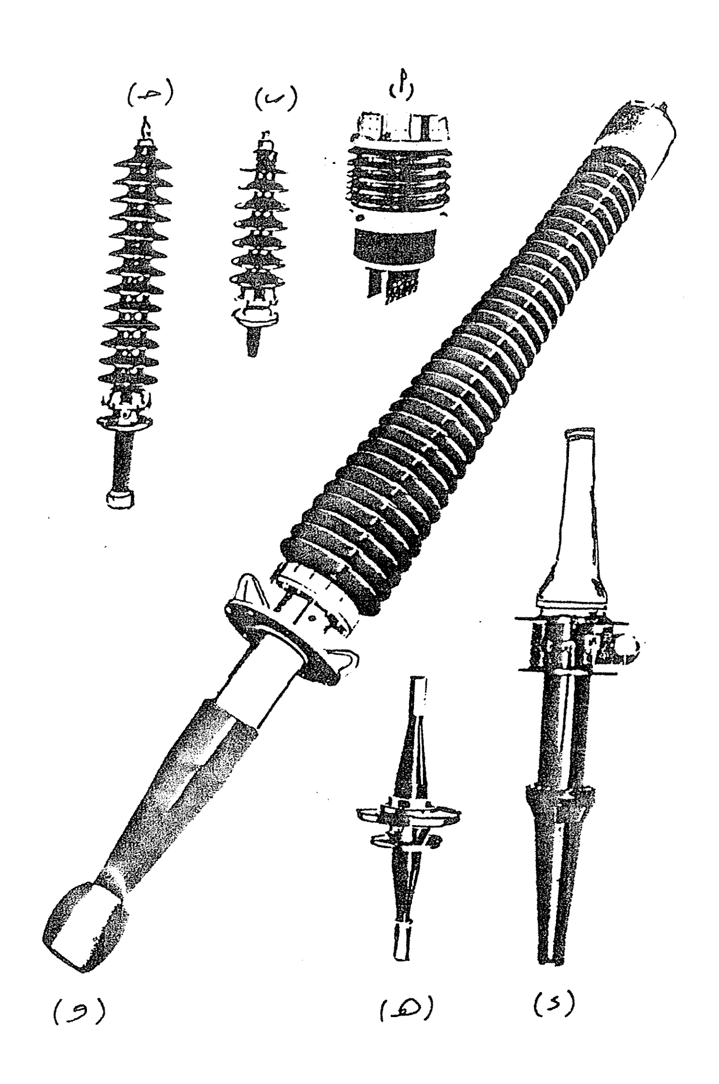
شكل (٦٧-١) ب



شكل (٦٨-١) عازل زيت/زيت



شكل (٦٩-١) عازل ذو مانع تسريب الغاز SF6



شكل (١-٧٠) عازلات مختلفة للمحولات

وغاز (SF6) ، حيث أن الزيت عند الضغط الجوى بينما غاز (SF6) عند ضغط حوالى أربعة أمثال الضغط الجوى . كذلك يتم احكام المخروط المحتوى على غاز (SF6) ، لمنع تسربه الى الزيت داخل المحول .

شكل (٦٩-١) يوضح عازل ذو مانع تسريب لغاز (SF6) .

شكل (٧٠-١) يوضح أنواع عوازل مختلفة انتاج شركة وستنجهاوس الامريكية - يوجد بينها اختلافاً فى الجهد والتيار ، والعازل ، ونوع التركيب ، توضيحها كالآتى :

أ - عازل لجهد ٣٦ ك. ف. ، ٢٠,٠٠٠ أمبير

ب - عازل لجهد ٧٢,٥ ك. ف. ، ٦٣٠ أمبير (تركيب داخل المبنى)

جـ - عازل لجهد ١٢٣ ك. ف. ، ٦٣٠ أمبير (تركيب داخل المبنى)

ء - عازل لجهد ٤٢٠ ك. ف. ، ٢٠٠٠ أمبير

هـ - عازل لجهد ١٤٥ ك. ف. ، ١٦٠٠ أمبير

و - عازل لجهد ٤٢٠ ك. ف. ، ١٦٠٠ أمبير

عزل الملفات *Insulation of Winding*

تنقسم عملية العزل الى نوعين : عزل رئيسى وعزل مساعد

- العزل الرئيسى *Major Insulation*

والمقصود به عزل ملفات المحول عن الأجزاء المؤرضة وهى القلب والخزان ، وعزل الملفات عن بعضها البعض .

وتستخدم اسطوانات عازلة بين القلب والملف الثانوى ، وبين الملف الابتدائى والملف الثانوى ، ويتم استخدام حواجز عازلة بين شرائح الساق المتجاورة (اذا كانت ضرورية) ، وأخيراً تستخدم حواجز بين الملفات والفك .

تشكل الاسطوانات من عدد من الطبقات المصنوعة من ورق مضغوط ذات خصائص خاصة ، أو مصنوعة من مواد راتنجية اصطناعية . يغطى الورق بطبقة من الورنيش ويلف على شكل اسطوانات ، وذلك باستخدام عمود دوران المخرطة ، للحصول على اسطوانات

جيدة العزل ، ولكى تكون ذات قوة ميكانيكية عالية جداً ، يتم لف الاسطوانات عند درجات حرارة عالية وتكرر عملية اللف عند حرارة تماثل حرارة عملية التحميص ، ثم تبرد .

الحواجز العازلة بين الفك والملفات تكون عبارة عن ورق مضغوط تحتوى على حلقات *(Washer)* متتالية ، وعلى مسافات *(Block)* ، ويكون الشكل العام لها كما فى شكل (٧١-١) ، لها قطر داخلى وآخر خارجى ، يعتمد على حجم الملفات المستخدمة ، وتعتبر المسافات البارزة *(Block)* كما لو كانت مسارات للزيت .

المحولات ذات القدرات الصغيرة ، تستخدم عازلات نهاية الملفات كما فى شكل (٧٢-١) ، حيث يمثل شكل (٧٢-١) أ عازل من الخشب ، وهو عبارة عن جزء طولى وجزء عرضى ، بينما يمثل شكل (٧٢ - ١) ب عازل من الورق المضغوط على شكل حدوة حصان .

- **العزل المساعد** *Minor Insulation*

والمقصود به العزل بين الاجزاء المكونة للملفات (طبقات - مخدات - مجموعة لفات..) .

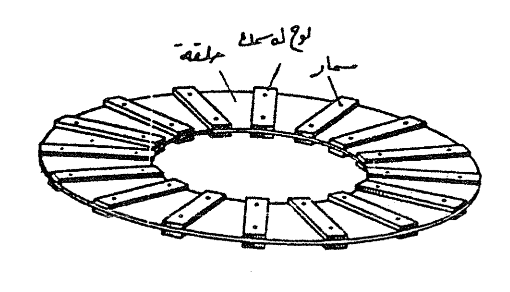
يتم تصنيع العزل من : ألياف نباتية ـ قطن ـ ألياف صناعية أو خليط منها . تصنع هذه المواد باستخدام ماكينة الألواح المتقطعة *(Intermittend Board)* ، ثم تعرض لضغط عالى للتخلص من اى مياه معلقة وفى النهاية يتم الحصول على مادة مكثفة ، وتشكل الألواح بسمك ٠,١ مم ، وبعرض ١,٨ متر ، يمكن الحصـول على ألـواح بسمك أكبر تناسب المحولات الكبيرة .

تعريف المواد العازلة :

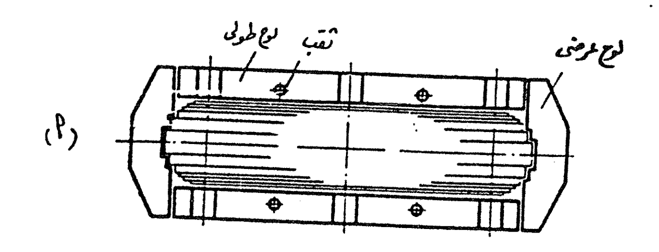
المواد العازلة عبارة عن مواد غير معدنية ، عضوية أو غير عضوية ، منتظمة أو متغايرة فى التركيب ، طبيعية أو اصطناعية .

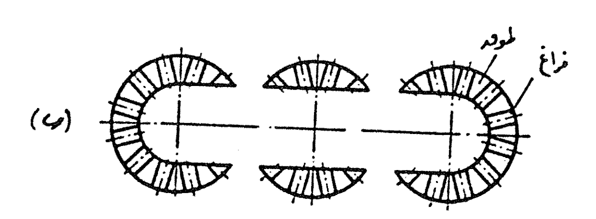
من الخصائص العامة للمواد العازلة

- متانة كهربائية عالية
- معاملات توصيل حرارية جيدة
- عدم التشوة عند درجات الحراره العالية
- خصائص ميكانيكية عاليه ، على سبيل المثال تكون مقاومة للهزات والتذبذبات .



شكل (٧١-١)





شكل (٧٢-١)

جدول(٣-١)

تصنيف المواد العازلة Class	درجة الحرارة (مئوية)	أنـــواع المـــادة المستخدمــــــة
Y	٩٠	قطن - حرير - ورق - خشب - ألياف - سليلوز ـ بدون تشرب أو غمس فى الزيت
A	١٠٥	نفس المواد فى (Y) ولكن مشربه فى راتنج طبيعى أو زيت عزل ـ شرائح خشبية ـ ورق بطبقة ورنيش ـ شرائح خلات سليلوز
E	١٢٠	مينا راتنج صناعى ـ شرائح ورق وقطن مجهزة بفورمالدهيد .
B	١٣٠	ميكا - ألياف صناعية - أسبستوس
F	١٥٥	نفس المواد فى(B) باضافة مواد رابطة تتحمل المقاومة الحرارية العالية .
H	١٨٠	الياف صناعية ـ أسبستوس ـ ميكا مع اضافة راتنج سيليكونى .
C	أكبر من ١٨٠	ميكا ـ سيراميك ـ زجاج ـ كوارتز ـ أسبستوس ـ بدون أربطة أو مع راتنج سليكونى ذى استقرار حرارى عالى جداً.

جدول (٣-١) يوضح تصنيف المواد العازلة

جدول (٤-١) يوضح خصائص بعض المواد العازلة

جدول (٤-١)

المـــادة	النفاذية Permittivity	المقاومـة الكهربائيـة Electric Strength ك. ف / مم	المقاومـة النوعيـة Volume resistivity ميجا اوم / سم^{٣}
اسبستوس	–	٣	٢, × ١٠^{٦}
خلات السليولوز (حرير صناعى)	٣ – ٨	١٠ – ٤٠	١٠^{٤} – ١٠^{٦}
الياف	٢ – ٧	٥ – ٧	٠,٥ – ٢ × ١٠^{٤}
زجاج	٥ – ١٠	٥ – ٢٠	١٠^{٥} – ١٠^{٨}
ميكا	٣ – ٨	٣٠ – ٢٢٠	١٠^{٧} – ٢ × ١٠^{١٢}
ورق جاف	٢ – ٣	٤ – ٤٠	٥ × ١٠^{٤}
بولى ثيلين	٢,٢ – ٢,٤	٢٤ – ٤٠	١٠^{١١}
بورسلين	٤ – ٧	٥ – ٤٠	–
مطاط	٢ – ٣,٥	١٠ – ٣٥	١٠^{٦} – ١٠^{١٢}

الخزان *Tank*

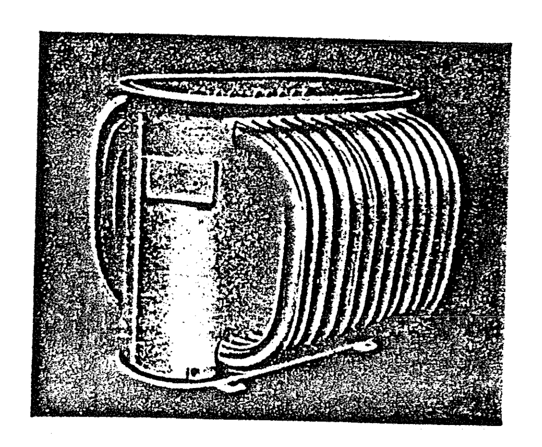
توجد انواع مختلفة من الخزانات ، تتميز حسب نوع التبريد المستخدم للمحول :

– خزان مسطح مستوى عادى **Plain Tank**

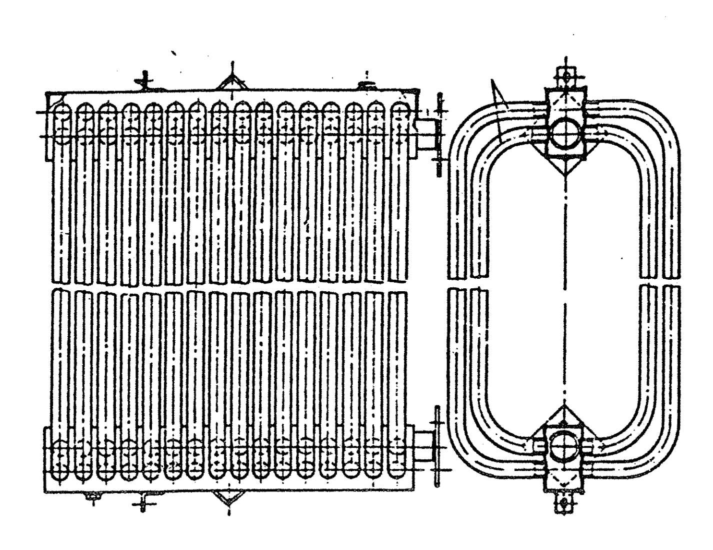
يستخدم للمحولات ذات القدرات الصغيرة (حوالى ٥٠ ك. ف . أ) ويكون السطح المستوى كافياً للتخلص من الحرارة المتولدة بالملفات نتيجة التحميل . يصنع الخزان من الصلب المعالج حرارياً ، ويكون سمكه حوالى ٣ مم ، ويستخدم لوح واحد لتشكيل جميع جوانب الخزان ، وبالتالى يتم عمل لحام كهربى لجانب أفقى واحد . القاعدة تصنع من نفس اللوح بينما يكون السطح العلوى على شكل شفة (Flange)

– خزان ذو أنابيب جانبية **Tubed Tank**

يستخدم هذا الخزان فى محولات التوزيع ، حيث يتم اضافة سطح تبريد على شكل انابيب خارجية ، تلحم على جسم الخزان ، وتكون مساراً متوازياً لدوران الزيت داخلياً .



شكل (٧٣-١)



شكل (٧٤-١)

وتكون أنابيب التبريد عادة ذات مقطع على شكل بيضاوى ٥٠ × ١٥ مم وسمك ١,٨ مم ، لأن الشكل البيضاوى يسمح بمساحة تبريد أكبر .

تصنع الخزانات من ألواح ذات سمك مختلف معتمداً على قدرة المحول . شكل (٧٣ - ١) يوضح خزان لمحول ١٠٠ ك. ف. أ .

شكل (٧٤ - ١) يوضح مقطع لمجموعتين من الانابيب .

- خزان ذو زعانف مشعة Radiator Tank

تستخدم زعانف خارجية تثبت على جسم المحول ، باستخدام مسامير ربط ، ويكون الاتصال بين زيت المحول ومسارات الزيت فى الزعانف المشعة بواسطة بلوف المشعات . عند نقل المحولات أو عند عمل أية اصلاحات تستلزم فك الزعانف ، يجب قفل البلوف قبل الفك .

شكل (٧٥ - ١) يوضح شكل المشع .

يتم دوران الزيت داخل المحول وخلال ممرات الزعانف فى دورة طبيعية تساعد على التخلص من درجات الحرارة المرتفعة .

شكل (٧٦-١) يوضح محول قدرة أنتاج وستنجهاوس مجهز بعدد من الزعانف .

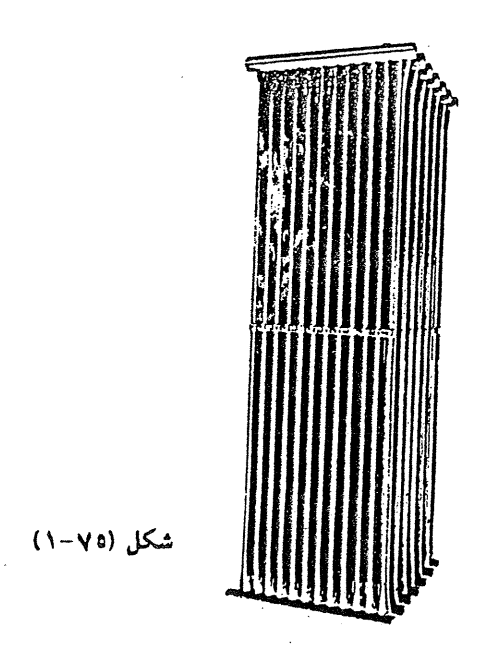
لزيادة قدرة المحول بنسبة حوالى ٣٠ ٪ تضاف مراوح اسفل الزعانف أو مقابل سطحها الخارجى ، حتى يمكن تجديد الهواء الساخن حول المحول اى مساعدة المحول على التخلص من الحرارة الزائدة .

شكل (٧٧-١) يوضح تركيب مروحة تبريد اسفل الزعانف .

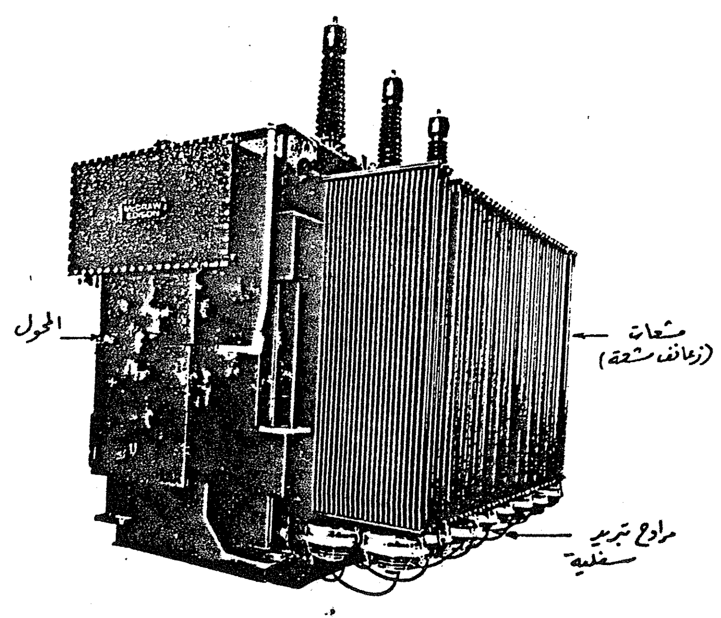
شكل (٧٨-١) يوضح استخدام مراوح مع محول جاف .

الخزان الاحتياطى *Conservator*

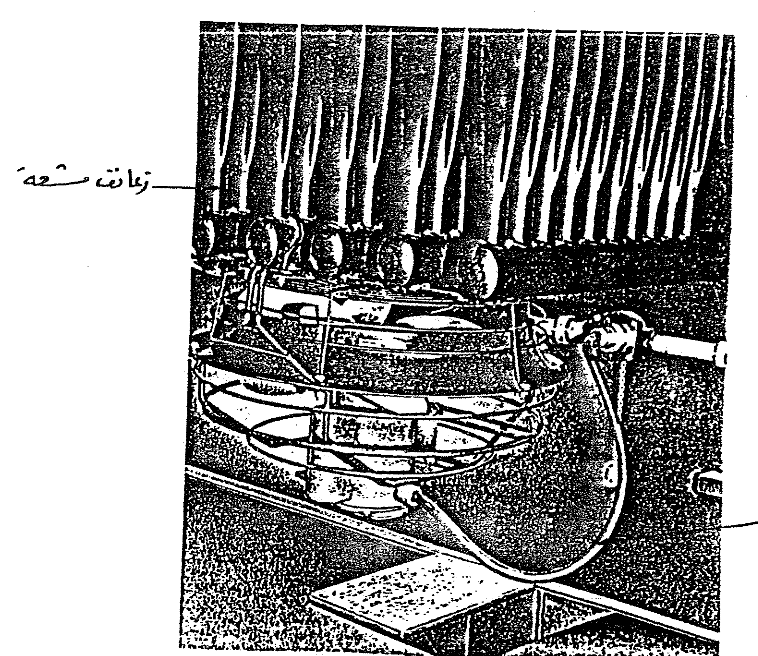
لو فرضنا محولاً يحتوى على الخزان الرئيسى فقط ومملوء بالزيت ، عند تشغيل المحول بالحمل الكامل وعند أقصى درجة حرارة محيطة ، فانه تبعاً لخصائص الزيت الطبيعية سوف يتمدد ، فيزيد حجمه ، وقد وجد عملياً أنه يمكن أن يزيد الحجم بنسبة ٨ ٪ عند التحميل الكامل مع أقصى درجة حرارة محيطة ، وعلى ذلك لا يمكن ملء الخزان بالزيت كلية ،



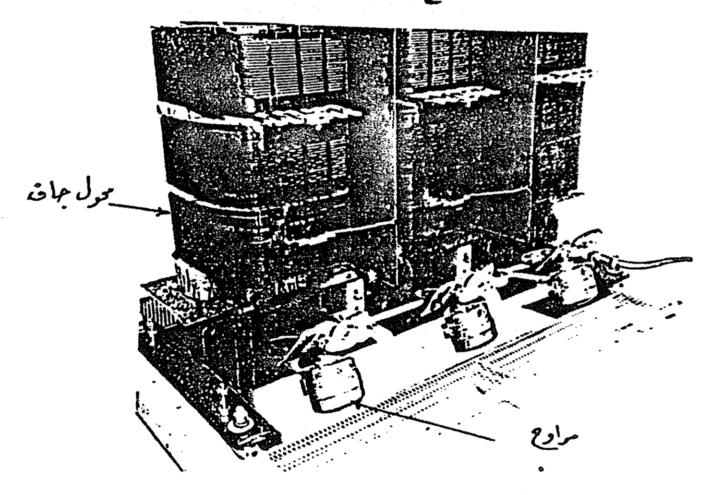
شكل (٧٥-١)



شكل (٧٦-١) محول قدرة (إنتاج وستنجهاوس)



شكل (٧٧-١) توضيح لشكل المروحة أسفل الزعانف



شكل (٧٨-١)

ولكن تترك مسافة كافية للسماح بتمدد الزيت . نتيجة لذلك فان السطح العلوى للزيت الساخن يكون عادة معرضاً للهواء ، الذى يشكل خطورة نتيجة وجود نسبة قد تكون عالية من الرطوبة فيه ، الى جانب عمليات الاكسدة ، مما يؤدى الى تكوين مواد عالقة بالزيت . ومن هنا نبتت فكرة اضافة خزان إحتياطى، بحيث يكون الخزان الرئيسى مملوءاً تماماً بالزيت ، بينما تترك مسافة للتمدد بالخزان الاحتياطى . هذا ويرتبط الخزانان بماسورة ، يتمدد الزيت من خلالها الى الخزان الاحتياطى..شكل (٧٩-١) يوضح الخزان الاحتياطى واتصاله بالخزان الرئيسى من خلال انبوبة . كذلك يوضح الشكل مبين مستوى الزيت مثبت على الخزان الاحتياطى ، للتأكد من مستوى الزيت بالخزان .

تكون المسافة المتروكة فوق مستوى الزيت بغرض :

أ - أن يتصل سطح صغير نسبياً من الزيت البارد مع الهواء عن طريق جهاز المتنفس *(Breather)*، وهو عبارة عن جهاز يسمح بدخول وخروج الهواء تبعاً لتغير درجة الحرارة داخل المحول ، يحتوى الجهاز على احدى المادتين :

- مادة سيلكا على شكل هلامى *(Silica gel)*

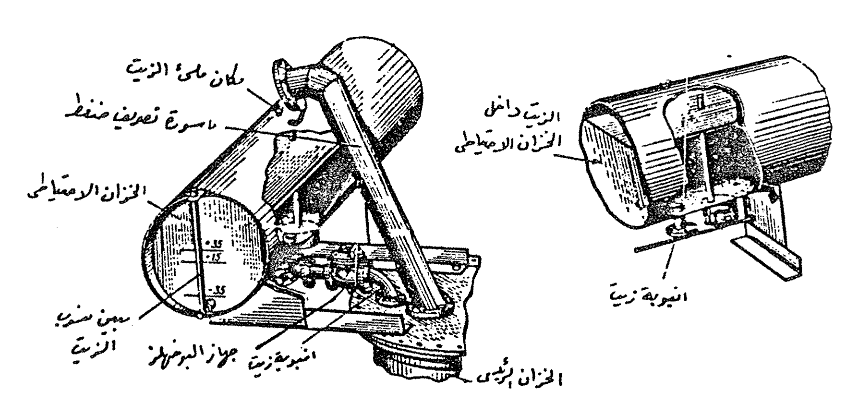
وهو عبارة عن ملح بللورى ماص للرطوبة والاكسچين ، ويمتاز بلونه الازرق الطبيعى ، ثم يتغير لونه الى البنفسجى عندما يتشبع بالرطوبة ، وتصل قدرته على امتصاص الرطوبة الى حوالى ٤٠ ٪ من وزنه الطبيعى . وعند تغير لونه يجب تغييره أو اعادة تجفيفه فى فرن مفتوح عند درجة حرارة بين ١٥٠ - ٢٠٠°م ، لمدة ساعتين ، حتى يستعيد اللون الازرق مرة أخرى .

- مادة كلوريد كالسيوم (Calcium Chloride)

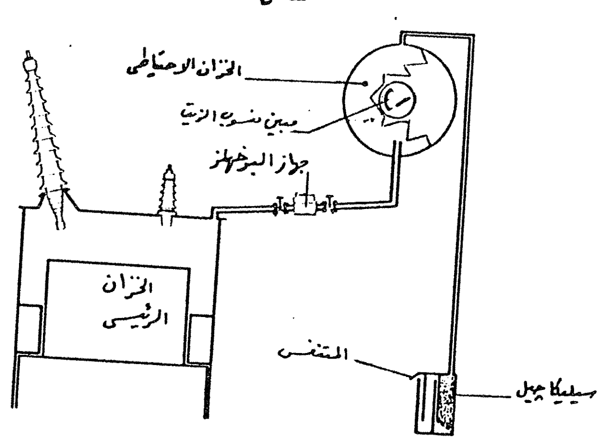
من عيوب هذه المادة أنه اذا حدث لها تشبع يمنع التنفس عن المحلول بينما مادة سيلكا جل اذا تشبعت لا تمنع التنفس . وهى ايضاً يمكن اعادة تجفيفها ، فى فرن مفتوح ، عند درجة حرارة بين ١٨٠ - ٢٠٠°م ، حتى تجف وتستخدم مرة اخرى .

يحتوى جهاز المتنفس أيضاً على كمية من الزيت فى قاعه ، يمر الهواء من خلالها أولاً ، للتخلص من أية شوائب ، تكون عالقة بالهواء .

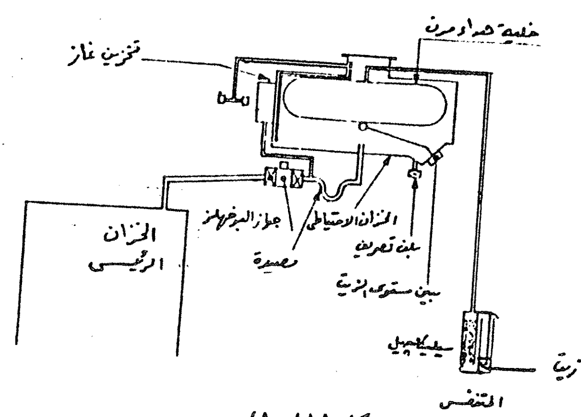
شكلى (٨٠-١) ، (٨١-١) يوضحا مكان تركيب جهاز المتنفس ، بالاضافة الى المكونات



شكل ٧٩-١)



شكل (٨٠-١)



شكل (٨١-١)

الرئيسية للخزان الاحتياطى .

ب – فى بعض المحولات يملأ الفراغ فوق مستوى الزيت بغاز النتروچين الخامل ، الذى لا يؤثر كيميائياً على الزيت ويحميه من عمليات التأكسد . وفى هذه الحالة لا يحتاج المحول لتركيب جهاز المتنفس حيث تساعد طبقة الغاز على تمدده وانكماشه .

٤-١ المحولات ثلاثية الاوجه *Three - Phase Transformers*

يمكننا أن نحصل على محول ثلاثى الاوجه وذلك بتوصيل ملفات ثلاثة محولات احادية الوجه معاً ، أى أننا نوصل الملفات الثانوية مع بعضها ، وكذلك الملفات الابتدائية ، وذلك بطريقة معينة (ستذكر فيما بعد) .

كما أنه يمكن الحصول على محول ثلاثى الاوجه باستخدام قلب حديدى يحتوى على عدد ٣ أو ٥ سيقان للف الملفات الابتدائية والثانوية لكل وجه على كل ساق . وبذلك يكون هناك ثلاثة ملفات ابتدائية توصل معاً دلتا *(Delta)* أو نجمة *(Star)* وثلاثة ملفات ثانوية توصل معاً دلتا أو نجمة ايضاً ، على النحو المبين بجدول (٥-١)

جدول (٥-١)

الملف	نوع التوصيل	الرمز
الملفات الابتدائية أو ملفات الجهد العالى	دلتا نجمة متعرج دلتا مفتوحة	D Y Z -
الملفات الثانوية أو ملفات الجهد المنخفض	دلتا نجمة متعرج دلتا مفتوحة	d y z -

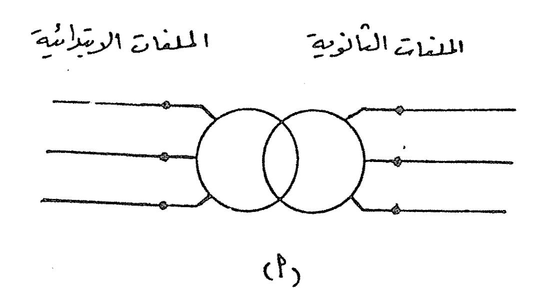
شكل (٨٢-١) أ يبين محول يحتوى على ملفات ثلاثية الاوجه فى الابتدائى والثانوى

شكل (٨٢-١) ب يوضح شكل الملفات الابتدائية والثانوية وهى موصلة نجمة / نجمة .

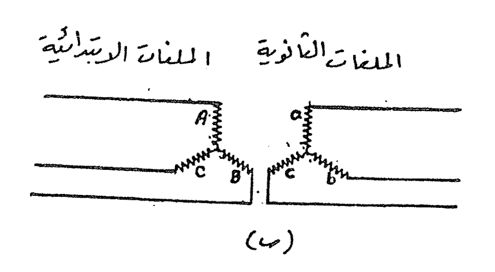
شكل (٨٢-١) جـ يوضح شكل الملفات الابتدائية والثانوية وهى موصلة نجمة / دلتا

شكل (٨٢-١) د يوضح شكل الملفات الابتدائية والثانوية وهى موصلة نجمة / متعرج

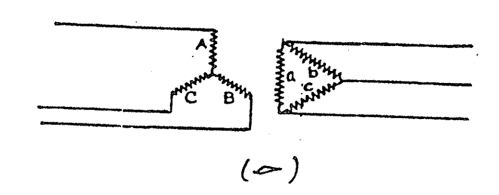
من جدول (٥-١) يتضح أنه يمكن استخدام طرق عديدة للحصول على توصيل الملفات



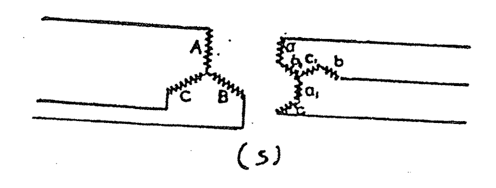
(أ)



(ب)



(حـ)



(د)

شكل (٨٢ - ١)

الابتدائية والملفات الثانوية ، مع ملاحظة أن الجهود على الملفات الابتدائية الثلاثة تكون متساوية فى القيمة ومتزنة وبين كل وجهين متعاقبين زاوية مرحلية ١٢٠° .

كذلك يتم لف الملف الابتدائى والملف الثانوى المناظر لكل وجه على نفس الساق ، ويكون جهد الملف الابتدائى مختلفاً مرحلياً مع جهد الملف الثانوى بزاوية ١٨٠° .

وتعرف طريقة توصيل الملفات الداخلية (سواء الابتدائية او الثانوية) بالمجموعة الاتجاهية *(Vector Groups)* وتتكون المجموعة من رموز تدل على طريقة توصيل الملفات الابتدائية ، وتوصيل الملفات الثانوية ، والزاوية بين المتجهين فى كل مرحلة فمثلاً فى المجموعة Yyo فان معنى الرموز

Y : أن ملفات الملف الابتدائى متصلة عل شكل نجمة

y : أن ملفات الملف الثانوى متصلة على شكل نجمة

o : أن الزاوية بين المتجهين المتناظرين فى كل من المجموعتين تساوى صفراً (وغالباً لا يكتب الصفر ويفهم ضمنياً)

بينما رموز المجموعة $Yd1$ معناها :

Y : أن ملفات الملف الابتدائى متصلة عل شكل نجمة

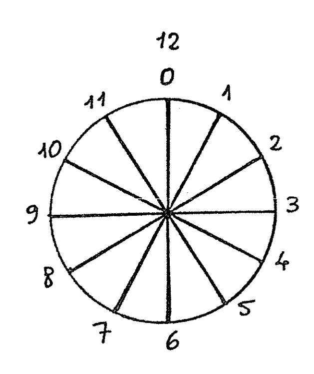
d : أن ملفات الملف الثانوى متصلة على شكل دلتا

1: أن الزاوية بين المتجهين المتناظرين فى كل من المجموعتين d,Y تساوى ٣٠°

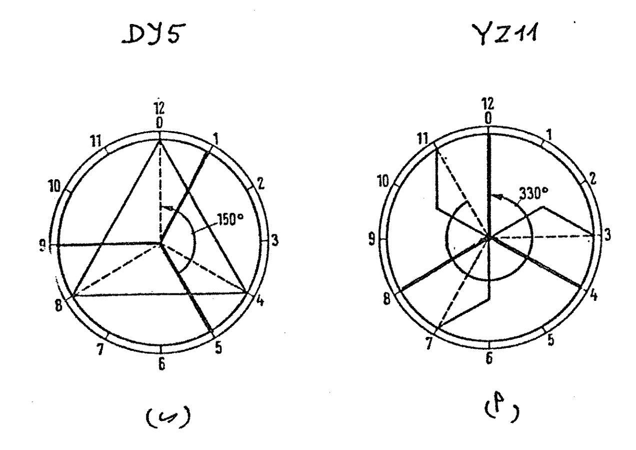
لكى نفهم ان الرقم ١ معناه أن الزاوية بين المتجهين المتناظرين فى كل من المجموعتين d,y. تساوى ٣٠° نلاحظ بالشكل (٨٣-١) ان الدائرة قسمت الى ١٢ جزءاً ، وكل جزء يمثل ٣٠° (مقسمة مثل الساعة ، فالساعة ١٢ هى صفر ، ثم ١ ، ٢ ، .... حتى ١١) ، فالرقم ١ يمثل الزاوية ٣٠° بينما الرقم ٥ مثلاً يمثل الزاوية ١٥٠° (أى ٥ × ٣٠°) .
وعلى ذلك فان الرقم المجاور للرموز الدالة على توصيل الملفات الابتدائية والثانوية تضرب فى ٣٠° فتعطى زاوية الاختلاف المرحلى بين متجهى الملف الابتدائى والملف الثانوى المتناظرين

شكل (٨٤-١) أ يمثل مجموعة متصلة $Yz11$

شكل (٨٤-١) ب يمثل مجموعة متصلة $Dy5$



شكل (٨٣ - ١)



شكل (٨٤ - ١)

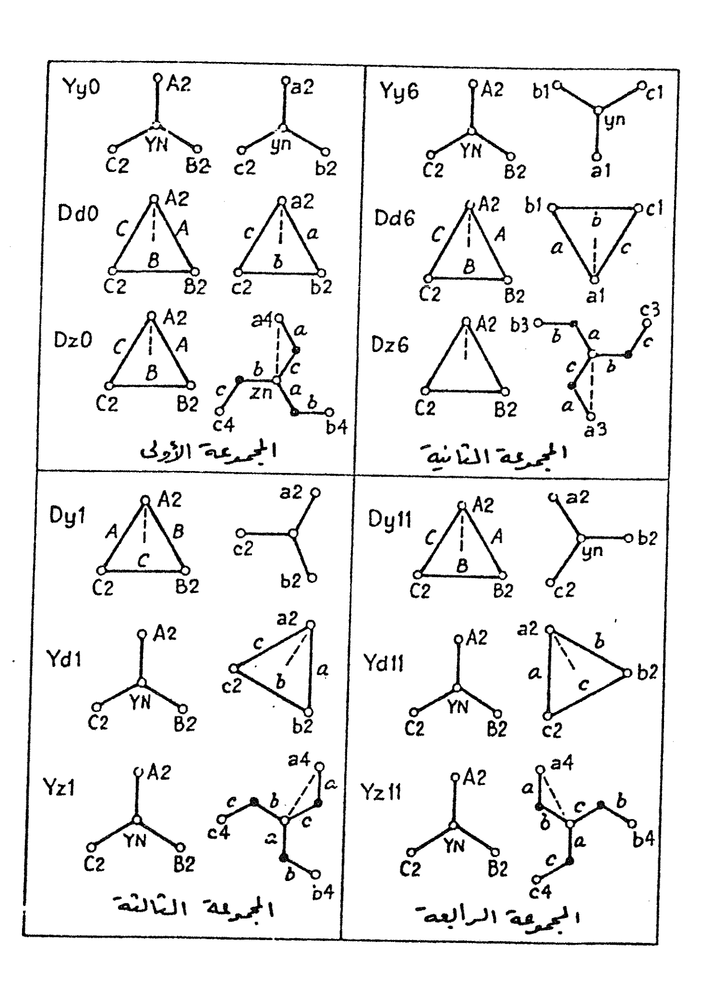
جدول(٦-١)

رقم المجموعة	توصيل الملفات		الزاوية	الرقم بالساعة	المجموعة الاتجاهية
	الابتدائية	الثانوية			
١	نجمة دلتا دلتا	نجمة دلتا متعرج	صفر	صفر	Yy0 Dd0 Dz0
٢	نجمة دلتا دلتا	نجمة دلتا متعرج	°١٨٠	٦	Yy6 Dd6 Dz6
٣	دلتا نجمة نجمة	نجمة دلتا متعرج	°٣٠	١	Dy1 Yd1 Yz1
٤	دلتا نجمة نجمة	نجمة دلتا متعرج	°٣٣٠	١١	Dy11 Yd11 Yz11

تصنف المجموعات الاتجاهية الى اربعة مجموعات كل مجموعة تحتوى على ثلاثة طرق لتوصيل الملفات الابتدائية والملفات الثانوية وموضحة بجدول (٦-١) .

الشكل (٨٥-١) يوضح تطبيقاً لجدول رقم (٦-١) اى تمثيل المتجهات لكل مجموعة . كما يوضح جدول (٧-١) الطرق الشائعة الاستعمال لتوصيل الملفات الثانوية والملفات الابتدائية ويحتوى الجدول على رقم الساعة ـ رمز التوصيل ـ رسم المتجهات ـ توصيل ملفات المحول .

جدول (٨-١) يوضح أمثلة لمحولات ذات ملفات مفتوحة وفى هذه الحالة يرمز للملف


Yy0
A2
YN
C2
B2
a2
yn
c2
b2
Dd0
Dz0
zn
a4
c4
b4
الجموعة الأولى
Yy6
b1
c1
a1
Dd6
Dz6
b3
c3
a3
المجموعة الثانية
Dy1
Yd1
Yz1
المجموعة الثالثة
Dy11
Yd11
Yz11
المجموعة الرابعة

شكل (٨٥ - ١)

جدول (٧ - ١)

رقم الساعة	المجموعة الاتجاهية	رسم المتجهات		توصيلة المحول	
		الجهد العالى	الجهد المنخفض	الجهد العالى	الجهد المنخفض
0	Dd 0				
	Yy 0				
	Dz 0				
5	Dy 5				
	Yd 5				
	Yz 5				
6	Dd 6				
	Yy 6				
	Dz 6				
11	Dy 11				
	Yd 11				
	Yz 11				

جدول (٨ - ١)

رقم الساعة	المجموعة الاتجاهية	رسم المتجهات: الجهد العالى	رسم المتجهات: الجهد المنخفض	توصيلة المحول: الجهد العالى	توصيلة المحول: الجهد المنخفض
0	Yiii 0				
11	Diii 11				
0	IIIy 0				
5	IIId 5				
0	Y 0				

محول أحادى الوجه يمكن استخدامه فى تكوين محول ثلاثى الأوجه

رقم الساعة	المجموعة الاتجاهية	رسم المتجهات: الجهد العالى	رسم المتجهات: الجهد المنخفض	توصيلة المحول: الجهد العالى	توصيلة المحول: الجهد المنخفض
0	Ii 0				
0	I 0				

الثانوى المفتوح بالرمز (i) بينما الملف الابتدائى المفتوح بالرمز (I) وعلى ذلك فالتوصيله $(Yiiio)$ معناها أن الملفات الابتدائية موصلة Y بينما الملفات الثانوية الثلاثة موصلة iii اى جميعها مفتوحة وبمعنى آخر كما لو كانت نجمة غير مجمعة فى نقطة واحدة والزاوية بين متجهات الملف الابتدائى والملف الثانوى تساوى صفراً .

كذلك يحتوى جدول (٨ -١) على توصيلة محول ذاتى ثلاثى الاوجه ، بالاضافة الى توصيلة محول أحادى الوجه مستخدم لمحول ثلاثى الأوجه .

لو أخذنا حالة محول ثلاثى الأوجه ، يحتوى على ثلاثة ملفات ، فيمكن القول بأنه يتكون من ملف ابتدائى وملفين ثانويين ، أو يتكون من ملف ابتدائى وملف ثانوى وملف اتزان .

فى هذه الحالة يرمز للمجموعة الاتجاهية *(Vector Group)* بعدد ثلاثة رموز وكمثال $Yyd11$ تعنى ان ملفات الملف الابتدائى متصلة نجمة (Y)،ملفات الملف الثانوى متصلة نجمة (y)،ولا يوجد زاوية ازاحة بينها وبين (Y) ، ملفات الملف الثالث متصلة دلتا (d) بزاوية أختلاف 330° (وهى $30^\circ \times 11$) عن المتجة (Y) .

طرق تحديد المجموعة الاتجاهية Vector Group لمحول غير معلوم المجموعة الاتجاهية له

يمكن تمثيل المحول كما لو كان صندوق يحتوى على ٦ أطراف :

ثلاثة أطراف هى خروج الملفات الابتدائية للأوجه الثلاثة A,B,C

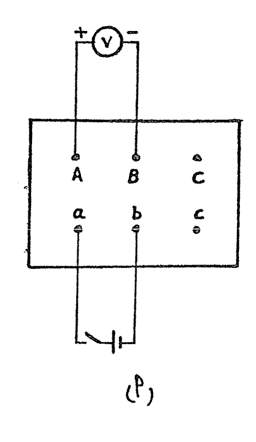
وثلاثة أطراف هى خروج الملفات الثانوية للأوجه الثلاثة a,b,c

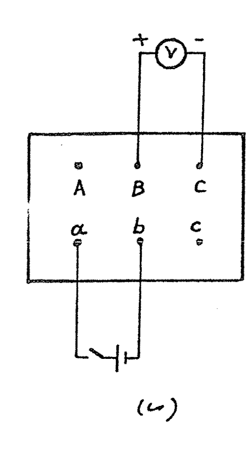
ويراد معرفة طريقة توصيل الملفات الثانوية والابتدائية لهذا المحول ؟

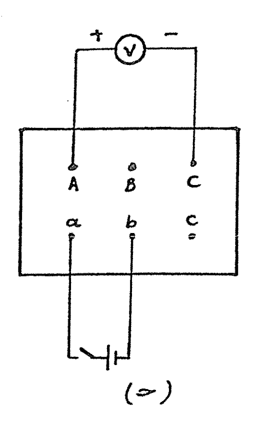
الطريقة الاولى :

باستخدام بطارية ومفتاح وفولتمتر *(d.c)* للتيار المستمر

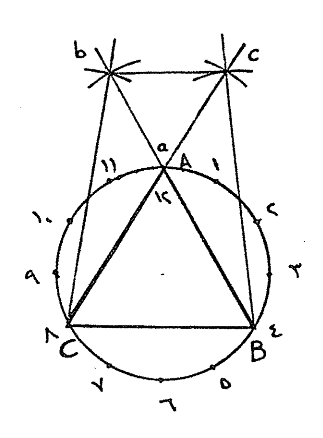
يتم توصيل البطارية والمفتاح بين الطرفين a,b كما فى الشكل (٨٦-١)أ ، يتم معرفة القطبية *(Polarity)* لكل طرفين من أطراف الملف الابتدائى : A,B / A,C / B,C وذلك أثناء توصيل المفتاح . مع ملاحظة توصيل أطراف الفولتمتر بطريقة صحيحة بمعنى أن :







شكل (٨٦ - ١)



شكل (٨٧ - ١)

الطرف الموجب يتم توصيلة على A ، الطرف السالب على B كما فى شكل (٨٦-١)أ

ثم الطرف الموجب يتم توصيلة على B ، الطرف السالب على C كما فى شكل (٨٦-١)ب

ثم الطرف الموجب يتم توصيلة على A ، الطرف السالب على C كما فى شكل (٨٦-١)جـ

بمعنى آخر ، عند كتابة : القياس على الاطراف A,B اى يراعى ترتيب الحروف اى توصيل الطرف الموجب مع A (وليس B) وتوصيل الطرف السالب مع B (وليس A)

ثم يتم تسجيل اتجـاه مؤشـر الڤولتمتـر هل + أو - أو صفر فمثلاً اذا تم التسجـيل كالآتى :

اتجاه المؤشر بين A,B فى الاتجاه السالب

اتجاه المؤشر بين B,C فى الاتجاه الموجب

اتجاه المؤشر بين A,C لم يتحرك

فإن

A , B = -

B , C = +

A , C = 0

ثم تكرر نفس القياسات عند توصيل البطارية والمفتاح بين الطرفين b,c فمثلاً اذا كانت

A , B = 0

B , C = -

A , C = -

ثم تكرر نفس القياسات عند توصيل البطارية والمفتاح بين الطرفين a,c فمثلاً اذا كانت

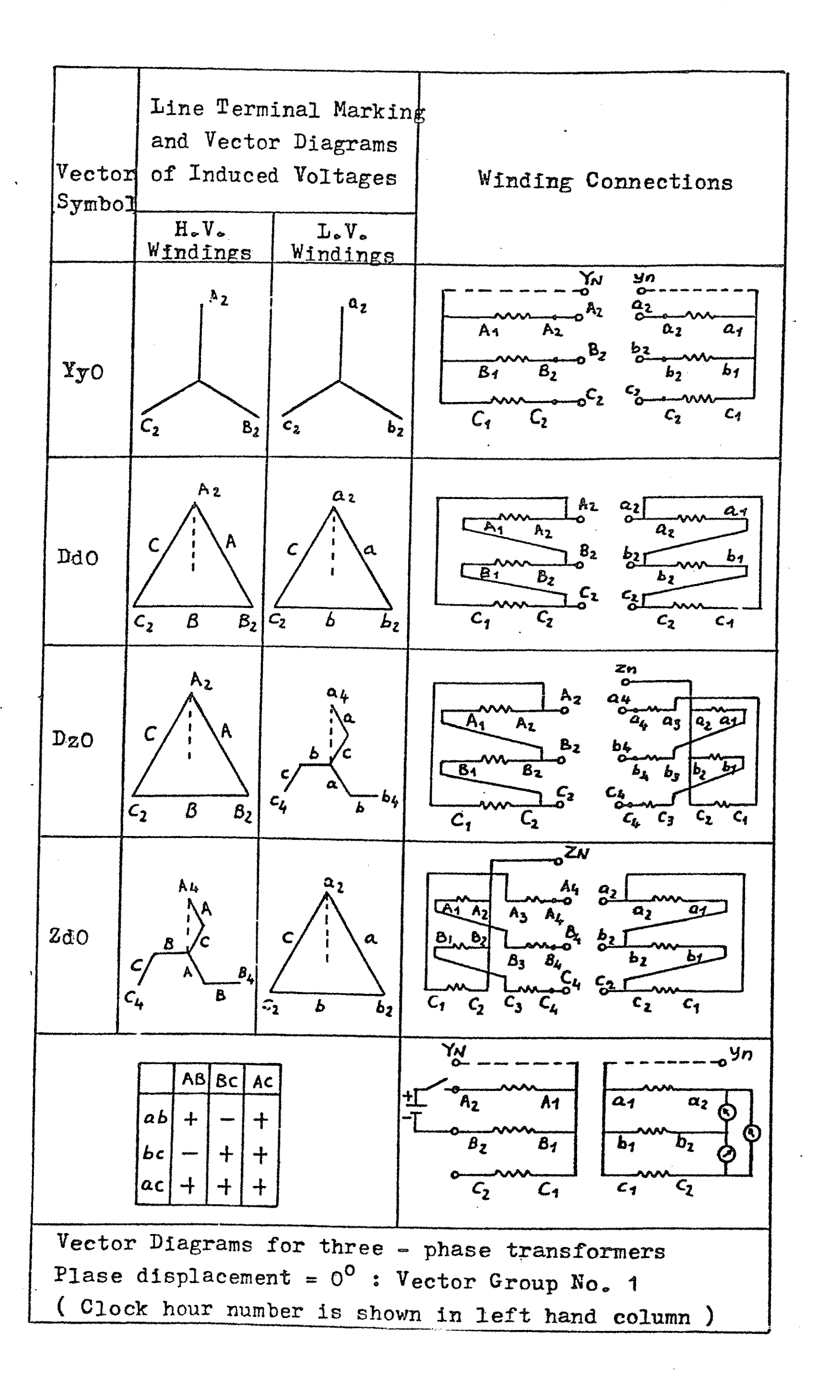
A , B = -

B , C = 0

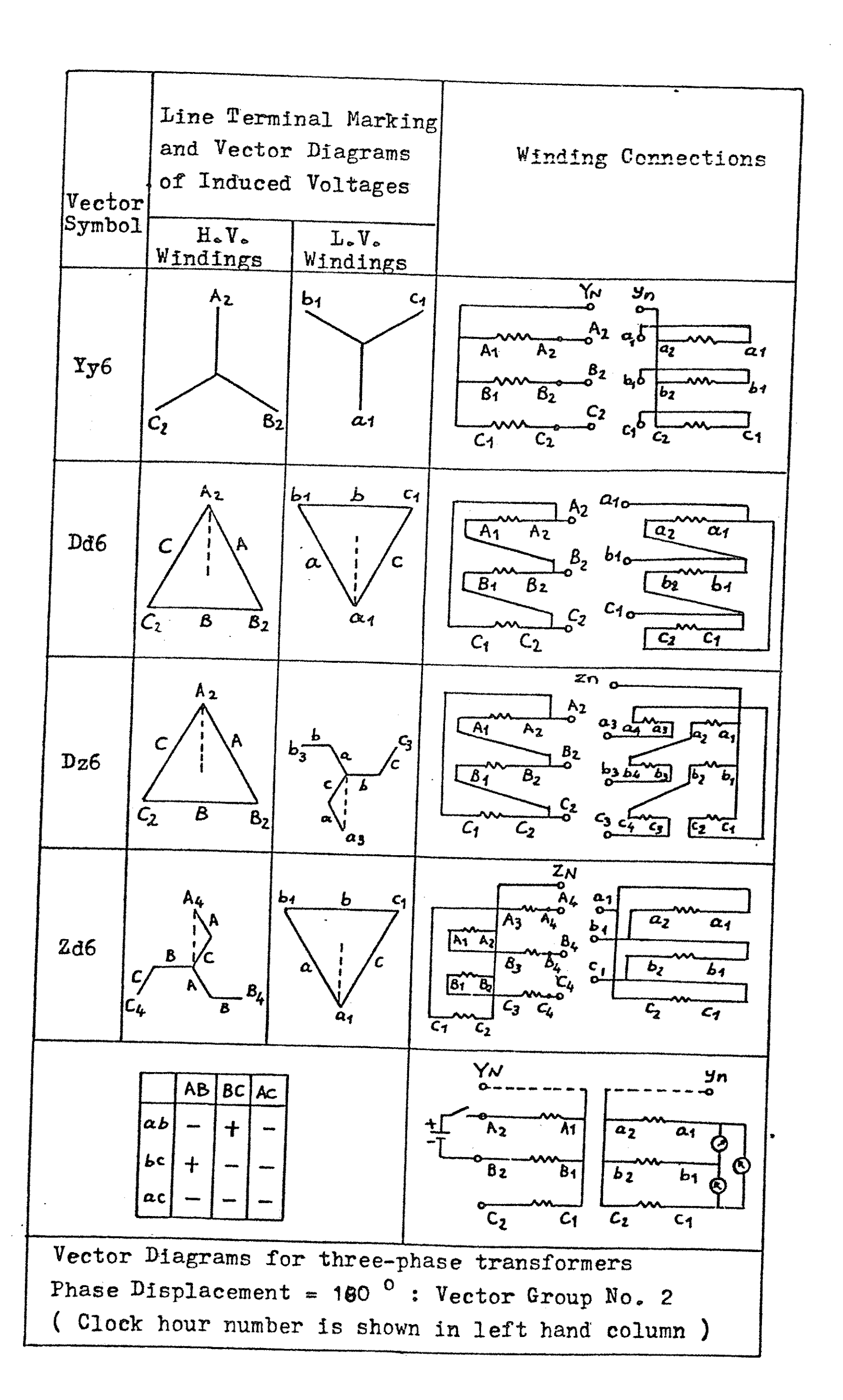
A , C = -

فانه من جدول رقم (٩-١) نجد أن دلالة هذه القياسات تعنى أن المجموعة الاتجاهية لهذا

جدول (٩ - ١)

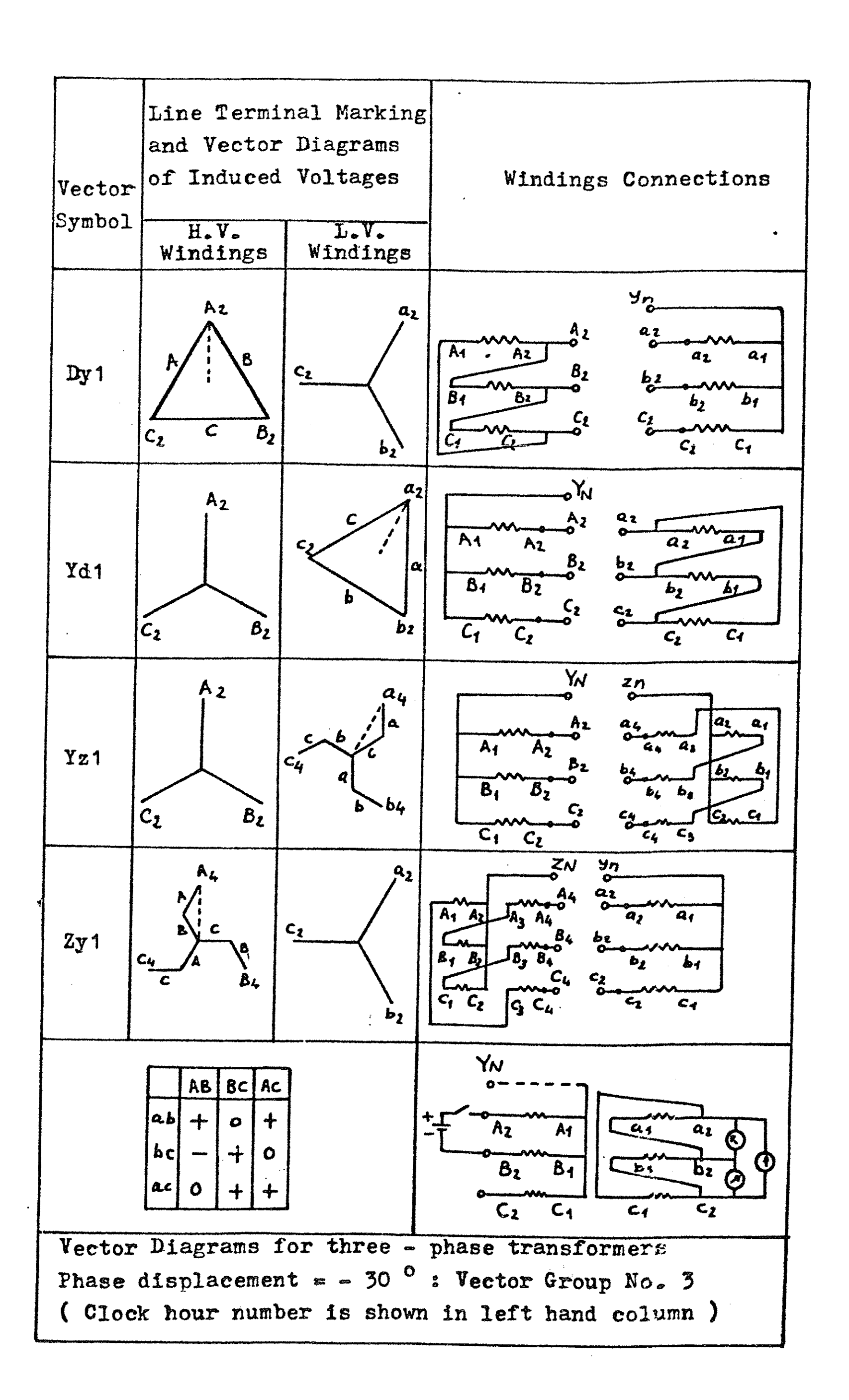


Vector Diagrams for three - phase transformers
Plase displacement = 0^{o} : Vector Group No. 1
(Clock hour number is shown in left hand column)



	AB	BC	AC
ab	−	+	−
bc	+	−	−
ac	−	−	−

Vector Diagrams for three-phase transformers
Phase Displacement = 180 ° : Vector Group No. 2
(Clock hour number is shown in left hand column)



	AB	BC	AC
ab	+	o	+
bc	−	+	o
ac	o	+	+

Vector Diagrams for three - phase transformers
Phase displacement = - 30 ^{o} : Vector Group No. 3
(Clock hour number is shown in left hand column)

Vector Symbol	Line Terminal Marking and Vector Diagrams of Induced Voltages		Winding Connections
	H.V. Windings	L.V. Windings	
Dy11			
Yd11			
Yz11			
Zy11			

	AB	BC	AC
ab	+	−	o
bc	o	+	+
ac	+	o	+

Vector Diagrams for three - phase transformers
Phase displacement = +30° : Vector Group No. 4

<table>
<tr><td rowspan="2">Vector Symbol</td><td colspan="2">Line Terminal Markings and Vector Diagrams of Induced Voltages</td><td rowspan="2">Winding Connections</td></tr>
<tr><td>H.V. Windings</td><td>L.V. Windings</td></tr>
<tr><td>Yd7</td><td>B
A
C</td><td>c
a
b</td><td>YN
A1 A2
B1 B2
C1 C2
a1 a2
b1 b2
c1 c2</td></tr>
</table>

	AB	BC	AC
ab	−	0	−
bc	+	−	0
ac	0	−	−

Vector Symbol	Line Terminal Marking and Vector Diagrams of Induced Voltages		Winding Connections
	H.V. Windings	L.V. Windings	
Yd5	B, A, C	a, c, b	Y_N, +, −, A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2

	AB	BC	AC
ab	−	+	0
bc	0	−	−
ac	−	0	−

المحول $Yd5$ وهكذا ...

الطريقة الثانية

١ - نقوم بعمل دائرة قصر بين الوجهين A, a .

٢ - يستخدم مصدر ٣٨٠ ڤولت ، ثلاثة أوجه ويسلط على أطراف الملفات الابتدائية A,B,C

٣ - يقاس الجهد بين الاطراف cC , cB , bC , bB

٤ - نرسم مثلث متساوى الأضلاع (بمقياس رسم معين) ، وطول الضلع يمثل ٣٨٠ ڤولت ، بحيث تكون مقابلة لأرقام ساعات المتجهات صفر ، ٤ ، ٨ كما فى شكل (٨٧-١) .

٥ - باستخدام برجل نرسم قوس بنصف قطر قيمة الجهد bB والمركز B ، ثم نرسم قوس بنصف قطر يناظر قيمة الجهد bC والمركز C ، وعندما يتقاطع القوسين نحصل على النقطة b (الوجه b للملف الثانوى) .

٦- نرسم قوس بنصف قطر cB ومركز B ، وقوس بنصف قطر cC والمركز C ، وبتقاطع القوسين نحصل على النقطة c (الوجه c للملف الثانوى) .

٧ - تعتبر النقطة A منطبقة على النقطة a

٨ - يتم توصيل الاطراف a,b,c كما فى الشكل (٨٧-١) الذى ، يدل على أن المجموعة الاتجاهية للمحول هى $Yy6$

ولتبسيط الطريقة يمكن الاستعانة بالجدول (١٠-١) حيث يتم حساب القيم $U_{b.B}$ ، $U_{c.B}$ ، $U_{b.c}$ ، $U_{c.c}$ من قيمة الجهد U_H، الجهد الخطى على ملفات الجهد المنخفض وتساوى $380/K$ حيث K نسبة التحويل للمحول ، وتقارن بالقيم المقاسة ونختار المجموعة الاتجاهية.

من جدول (١٠-١) يلاحظ ان

- الجهد بين الطرفين b,B يرمز له $U_{b\text{-}B}$.
- الجهد بين الطرفين c,C يرمز له $U_{c\text{-}C}$.

- الجهد بين الطرفين b,C يرمز له U_{b-C}.

- الجهد بين الطرفين c,B يرمز له U_{c-B}.

فمثلاً للحالة الاولى

$$U_{b-B} = U_{c-C} = U_H(K-1)$$

$$U_{b-C} = U_{c-B} = U_H \sqrt{1-K+K^2}$$

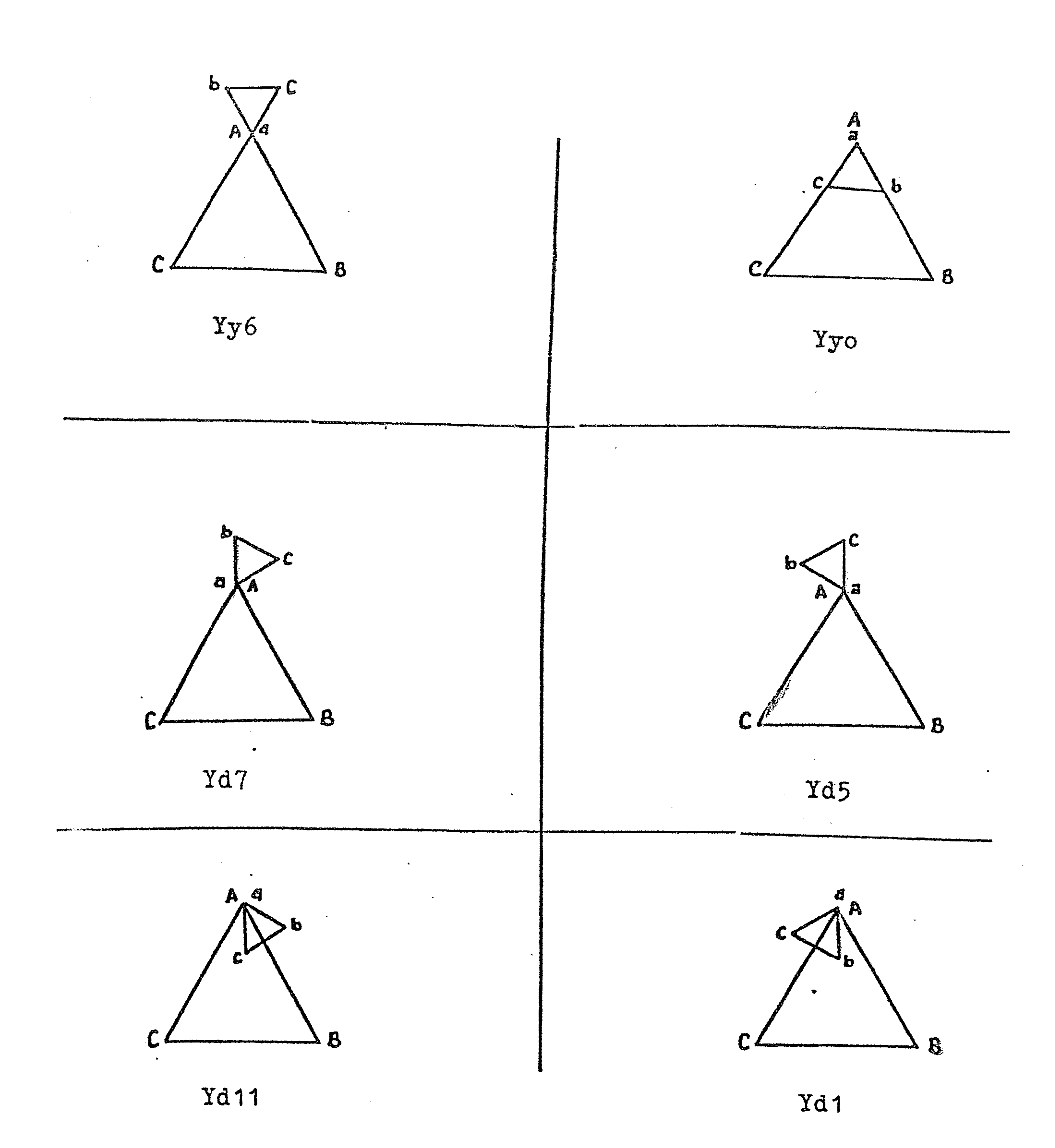
حيث K نسبة التحويل للمحول .

كذلك جدول (١١-١) يوضح بعض الأمثلة للمساعدة فى معرفة المجموعة الاتجاهية لمحول مجهول .

U_{c-B}	U_{b-C}	U_{b-B} or U_{c-C}	المجموعه (رقم الساعه)	الزاويــة	احتمال توصيلــة مجموعه المتجهــات	رســم المتجهيـات
$U_H\sqrt{1-K+K^2}$	$U_H\sqrt{1-K+K^2}$	$U_H(K-1)$	12	0	Yy , Dd, Dz	
$U_H\sqrt{1+K^2}$	$U_H\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	$U_H\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	1	30	Yd , Dy , Yz	
$U_H\sqrt{1+\sqrt{3}k+K^2}$	$U_H\sqrt{1+K^2}$	$U_H\sqrt{1+\sqrt{3}k+K^2}$	5	150	Yd , Dy , Yz	
$U_H\sqrt{1+K+K^2}$	$U_H\sqrt{1+K+K^2}$	$U_H(1+K)$	6	180	Yy , Dd , Dz	
$U_H\sqrt{1+K^2}$	$U_H\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	$U_H\sqrt{1+\sqrt{3}K+K^2}$	7	210	Yd , Dy , Yz	
$U_H\sqrt{1-\sqrt{3}k+K^2}$	$U_H\sqrt{1+K^2}$	$U_H\sqrt{1-\sqrt{3}K+K^2}$	11	330	Yd , Dy , Yz	

جدول (١٠ - ١)

جدول (١١ - ١)


b
C
A
a
C
B
Yy6
A
a
c
b
C
B
Yyo
b
C
a
A
C
B
Yd7
C
b
A
a
C
B
Yd5
A
a
b
c
C
B
Yd11
a
A
C
b
C
B
Yd1

٥ - ١ تشغيل المحولات على التوازى *Transformer Operating In Parallel*

الشروط الواجب الالتزام بها لتوصيل محولين أو أكثر على التوازى

١ – المجموعة الاتجاهية *(Vector Group)*

من المناسب استخدام محولات لها نفس المجموعة الاتجاهية ليمكن توصيلها على التوازى . كذلك يمكن لبعض المحولات ذات المجموعات الاتجاهية المختلفة أن يتم توصيلها على التوازى طبقاً للحالات الآتية :

أ – اذا كانت المحولات لها نفس المجموعة الاتجاهية ، مثلاً محولين لهما نفس المجموعة الاتجاهية *Yd11 , Yd11* فيتم توصيلهما كما فى شكل (٨٨ –١)

ب – اذا كانت زاوية الاختلاف ١٢٠° أى محولات لها مجموعات اتجاهية , *Yd1,Yd5* *Yd9* فيتم توصيل الملفات الابتدائية للمحولات بنفس النظام بينما يتم تغيير الملفات الثانوية للمحولات كما فى شكل(٨٩–١)

جـ – اذا كانت زاوية الاختلاف ٦٠° أى محولات لها مجموعات اتجاهية :

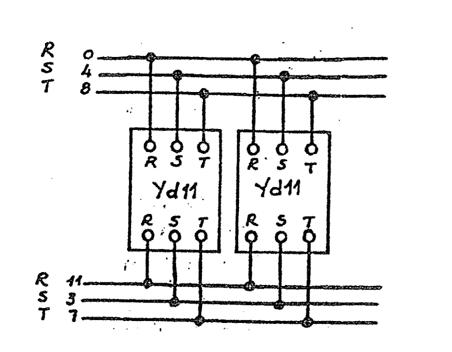
Yd1 , Yd3 , Yd5 , Yd7 , Yd9 , Yd11 فيتم تغيير توصيلات الملفات الابتدائية وكذلك الثانوية كما فى شكل(٩٠–١)

د – شكل (٩١–١) أ يوضح الطرق المختلفة لتوصيل محول *Yd11* مع محول *Yd5*

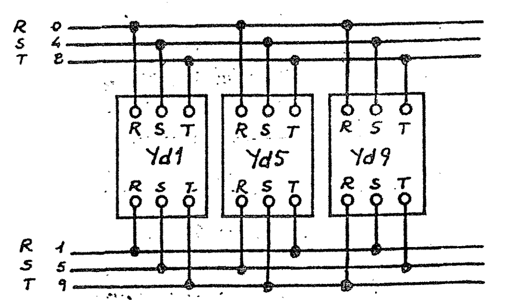
بينما شكل (٩١–١)ب يوضح الطرق المختلفة لتوصيل محول *Yd5* مع محول *Yd11*

٢ – نسبة التحويل وحدود مغير الجهد *(Turns Ratio)*

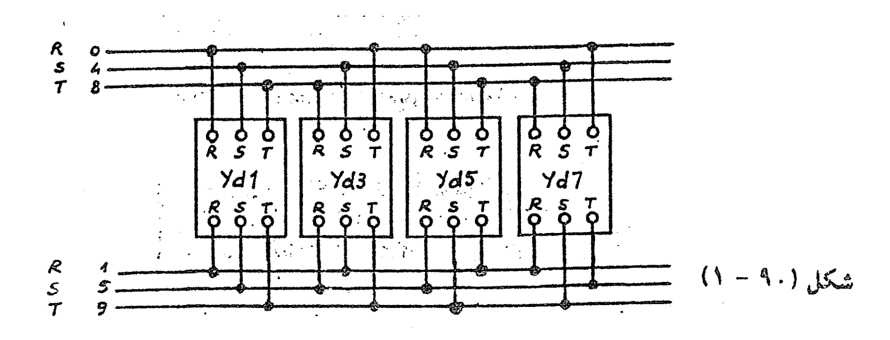
عند تساوى معاوقة الجهد *(Impedance Voltage)*لمحولين متوازيين فإن الحمل الكلى يتوزع بينهما مباشرة بنسبة قدرة كل منهما ، ويتوزع عكسياً بنسبة معاوقة الجهد . عند تساوى جهد المدخل على المحولات المتصلة على التوازى ، بينما يكون جهد المخرج غير متساوى (بإختلاف نسبة التحويل فيهما اختلافاً ضئيلاً) ، فإن تيار تعادلى *(Equalizing Current)* يمر فى كل من المحولين ، ولا يعتمد هذا التيار على تيار الحمل ، أو على طريقة توزيع الاحمال ، مع ملاحظة أن التيار التعادلى يمر بالمحولين فى حالة اللاحمل أيضاً . عند تشغيل المحول وتحميله ، فان تيار الحمل يضاف اتجاهياً الى تيار التعادل وتكون المحصلة



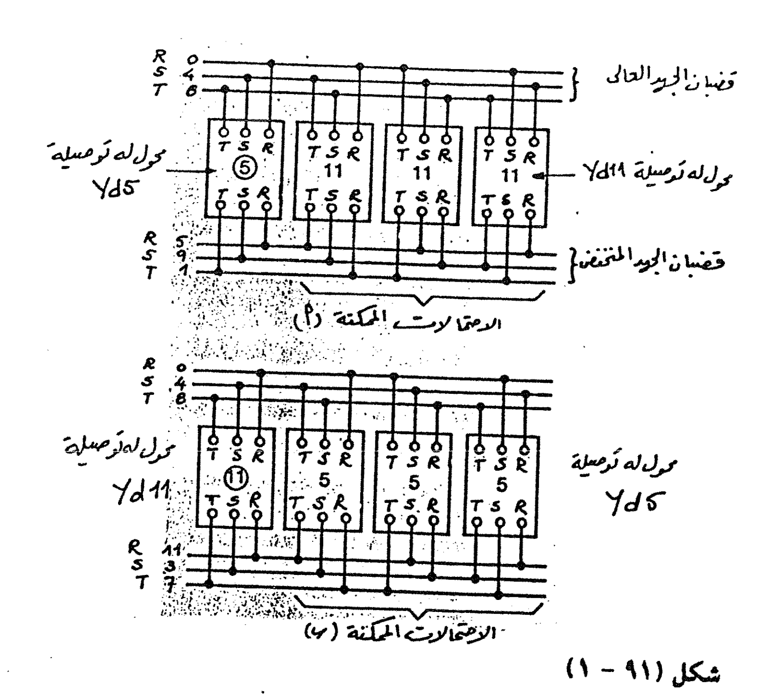
شكل (٨٨- ١)

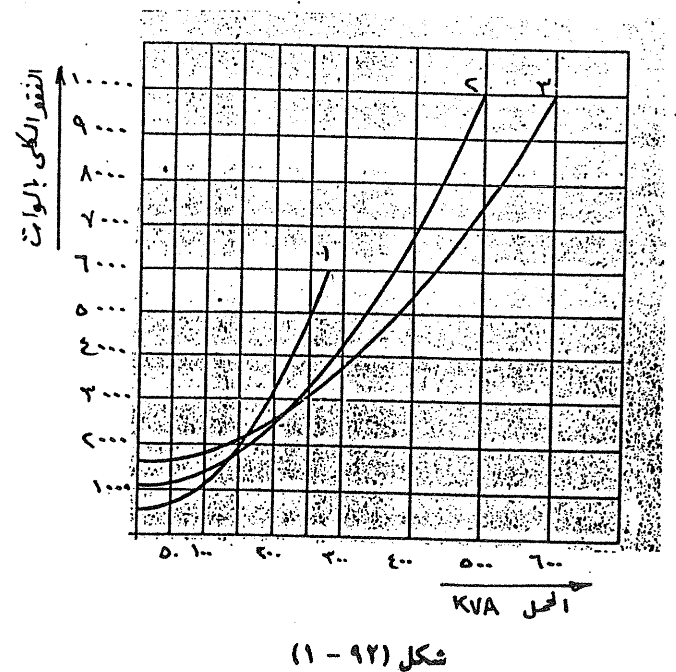


شكل (٨٩ - ١)



شكل (٩٠ - ١)





شكل (٩١ - ١)

شكل (٩٢ - ١)

اكبر من تيار الحمل اذا كان معامل قدرة الحمل حثياً *(Inductive)* ، وكان جهد الملف الثانوى مرتفعاً نسبياً (فى المحول الذى نسبة تحويله أعلى) ، وتقل المحصلة اذا كان جهد الملف الثانوى منخفضاً(فى المحول ذى نسبة التحويل الاقل) .

يجب مراعاة أنه عند تغيير خطوة مغير الجهدفان جهد المعاوقة *(Impedance Voltage)* يتغير ، ولذلك يجب مراعاة وضع المحولات المتوازية على نفس الخطوة .

٣ – جهد المعاوقة *Impedance Voltage*

يجب ألا يزيد جهد المعاوقة للمحول المفرد (من مجموعة متصلة على التوازى) عن ±١٠ ٪ من متوسط قيمة جهد المعاوقة للمحولات المتصلة على التوازى فإذا كانت :

- $S_{N1}, S_{N2}, S_{N3}, \dots S_{NP}$ هى القدرات المقننة للمحولات المتصلة على التوازى
- $U_{K1}, U_{K2}, U_{K3}, \dots U_{KP}$ هى جهود المعاوقة للمحولات عند التيار المقنن
- $S_1, S_2, S_3, \dots S_P$ هى حمل كل محول على حدة (اتجاهياً)

$$S_1 : S_2 \dots : S_P \approxeq \frac{S_{N1}}{U_{K1}} : \frac{S_{N2}}{U_{K2}} : \dots\dots \frac{S_{NP}}{U_{KP}}$$

ويكون الحمل الكلى (اتجاهياً)

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \;\dots\dots\dots\dots\; + S_P$$

من هذا يتضح أن المحول الذى يكون جهد معاوقته أصغر يمر به تيار أكبر من المحول الذى له جهد معاوقة أكبر . للتغلب على ارتفاع الحمل فان اقصى حمل مسموح به يمكن حسابه من العلاقة :

$$S = S_{N1} + S_{N2} \cdot \frac{U_{k1}}{U_{k2}} + S_{N3} \cdot \frac{U_{k1}}{U_{k3}} + \dots\dots S_p$$

معنى ذلك أنه يمكن تحميل المحول الاول ١٠٠ ٪ من حمله ، والمحول الثانى بحمل $\frac{U_{k1}}{U_{k2}}$ % من حمله ، والمحول الثالث بحمل $\frac{U_{k1}}{U_{k3}}$ % من حمله وهكذا ...

٤ – تكون نسبة القدرات للمحولات المتصلة على التوازى (ك. ف. أ) لاتتعدى ٣ : ١

اقتصاديات تشغيل المحولات على التوازى

The Economics of Parallel Operation

عند تشغيل مجموعة من المحولات على التوازى نحصل على أقل مجموع مفقودات. (يتغير فقد الحمل *Load Loss* مع مربع التيار) ، أى أن مجموع فقد الحمل وفقد اللاحمل الناتج من تقسيم الحمل الكلى بين عدد معين من المحولات المتصلة على التوازى يكون اقل قيمة من قيمة الفقد فى حالة تقليل عدد المحولات المتصلة على التوازى.شكل (٩٢-١) يوضح منحنيات الفقد الكلى (الحمل - اللاحمل) لمحول توزيع ٢٠٠ ك. ف. أ .

منحنى رقم (١) يمثل محول واحد فقط فى الخدمة .

منحنى رقم (٢) يمثل محولين متصلين على التوازى

منحنى (٣) يمثل ثلاثة محولات متصلة على التوازى .

٦ - ١ تأريض نقطة التعادل *Neutral Point Earthing*

إختيار معدات التأريض المناسبة لتوصيلها بين نقطة التعادل للنظام الكهربى والأرض (بغرض تحديد أو تخفيض قيمة تيار القصر الأرضى) ، تعتمد الى حد ما على قيمة جهد النظام المؤرض (ضغط عالى أو ضغط منخفض) ، وكذلك تعتمد جزئياً على سعة النظام الكهربائى (*Power system M V A*) .

نقطة التجميع : فى حالة نظام ضغط عالى – إما أن تكون مؤرضة مباشرة مع الأرض أو مؤرضة من خلال معاوقة (مقاومة – ....).الفائدة من اضافة بعض أنواع معدات تحديد تيار القصر هو تقليل تيار القصر فى حدود تسمح بتشغيل أجهزة الوقاية – ويجب أن نتذكر الأوجه السليمة ، أى التى لم يحدث عليها قصر (*Sound Line*) تكون عرضة لارتفاع الجهد بقيمة أكبر من قيمة جهد الوجه خلال زمن قصير ، وعلى ذلك اذا كانت أجهزة الوقاية تعمل بسرعة كافية ، فان تأثير ارتفاع الجهد لن يكون خطراً ...

المعدات الأكثر شيوعاً المستعملة لتأريض نقطة التجميع فى حالة الضغوط العالية عبارة عن بعض أنواع المقاومات للنظم الصغيرة والجهود حتى ١١ ك . ف ، وهى أحياناً تأخذ شكل سبيكة (*Cast*) ، أو شبكة مضغوطة (*Pressed Grid*) ، وأحياناً فى حالة تيارات القصر الأعلى تستخدم مقاومة سائلة ... المقاومات عموماً تصمم بحيث تتحمل مرور تيار القصر الذى يساوى تيار الحمل الكامل المقنن للمحول ، ولمدة ٣٠ ثانية ، وقيمة المقاومة بالأوم تكون بدلالة جهد النظام ، وتيار القصر المسموح به .

ويمكن أن تؤرض نقطة التعادل خلال ملف تخميد القوس (*Arc Suppression Coil*) ، ويقلل هذا النوع من التأريض عدد مرات الفصل عند حدوث قصر لوجه مع الأرض ، حيث يتم التخلص من العطل ذاتياً ، واذا كان العطل متقطع ولم يتم التخلص منه ذاتياً ، فان الملف يسمح للنظام أن يعمل فى حالة قصر وجه مع الأرض لمدة زمن قصير نسبياً ، حتى يصبح العطل محدداً ، ويمكن التخلص منه بطريقة معادلة التيار التأثيرى بالتيار السعوى للدائرة ...

فى حالة نظام معزول عن الأرض اذا حدث قصر بين وجه والأرض ، فان التيار السعوى يمر بالوجهين الآخرين خلال المكثف بين الأرض والخط الهوائى وهذا التيار السعوى غير كافى لتشغيل أجهزة الوقاية ، ولكن يساعد على استمرار وبقاء القوس الكهربى خلال

العوازل للوجه العاطل ، مما تؤدى الى أن الوجهين الآخرين يخضعان لجهد غير عادى بالنسبة للأرض ، اذا وصل ملف اخماد القوس ذو نقط تقسم (*Tapped Coil*) خلال نقطة التعادل والأرض ، فانه يمكن ضبط قيمة التيار بالملف بحيث تساوى التيار السعوى ، وتكون محصلة التيار هى تيار القصر ، وهى غالباً صغيرة جداً ..

أولاً : نظام نقطة التعادل معزولة عن الأرض *Ungrounded System*

فى هذا النظام لا يوجد أى اتصال بين نقطة التعادل والأرض ، تمثل المعاوقة بين الأرض وأى موصل بمكثف ، وبين أى موصلين بمكثف أيضاً ، ولذلك يمكن القول بأنه فى حالة نظام ذو ثلاثة أوجه ، (كما فى شكل { ٩٣ - ١ } أ) يوجد بين كل وجهين مكثف ، حيث تمثل مجموعة المكثفات توصيلة دلتا (*Delta*) ، وكذلك بين كل وجه والأرض مكثف تمثل المجموعة بتوصيلة نجمه (*Star*) وحيث أن تأثير دلتا المكثفات على الخصائص الأرضية للنظام لا تذكر (حيث أنها غير متصلة بالأرض) فيمكن اهمالها ، أما بالنسبة لمجموعة النجمة ، فان التيارات $I_{c(T)}$, $I_{c(S)}$, $I_{c(R)}$ تتساوى ، ويكون بينها زوايا ١٢٠° فى حالة مصدر جهد ثلاثى الأوجه متزن . حيث أن جهد نقطة التعادل للمكثفات هو جهد الأرض ، يتبع ذلك نقطة التعادل للمحول تكون هى الأخرى بجهد الأرض ، وحيث أن الشحنات الاليكترو ميكانيكية مع الأرض متزنة ، يمكن استنتاج أن النظام فى هذه الحالة مؤرض خلال مجموعة المكثفات C_T , C_S , C_R

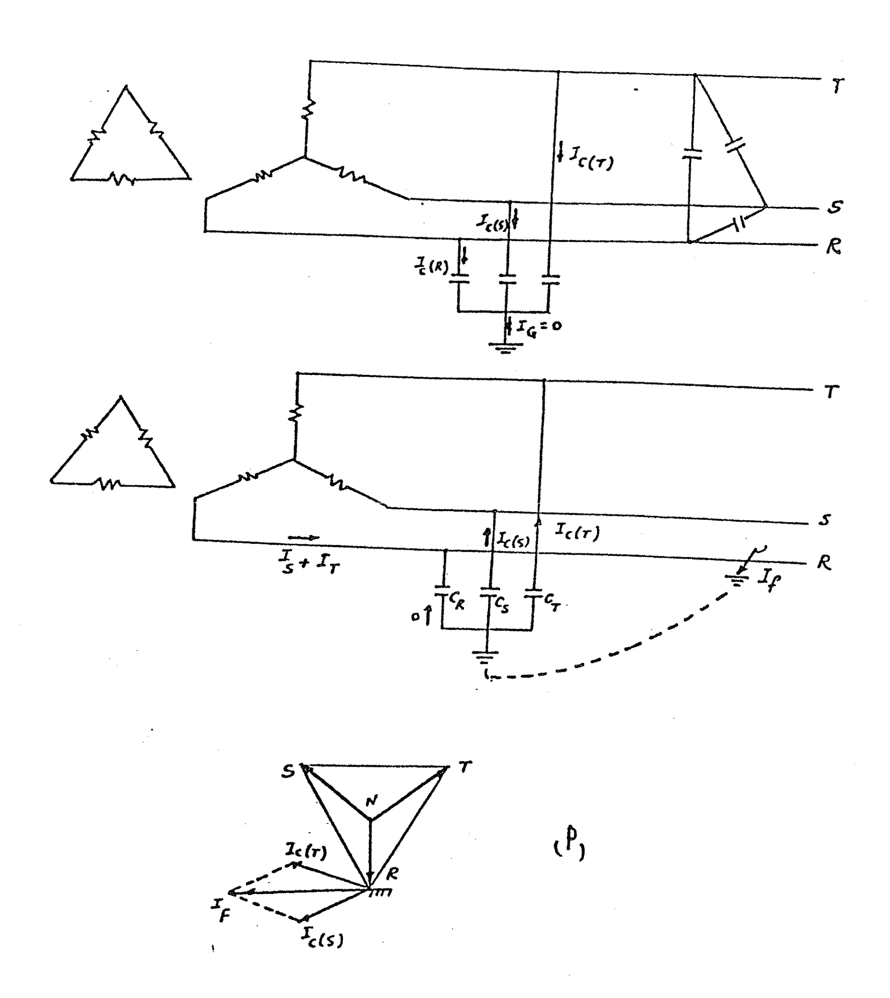
مميزات نظام نقطة التعادل معزولة عن الأرض

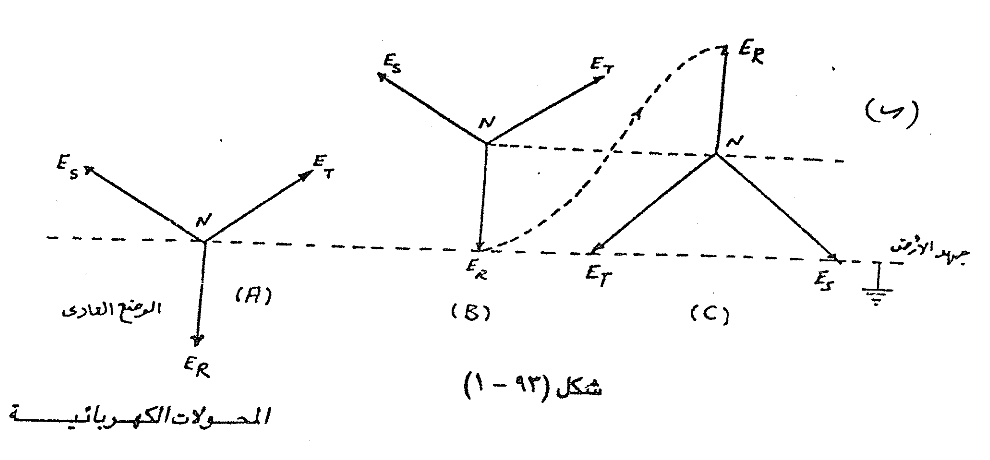
١ - فى حالة حدوث قصر بين الوجه والأرض يمر تيار قصر صغير جداً خلال المكثفات والأرض تقريباً ٢٥ أمبير ..

٢ - تكون قيمة فولت أمبير ، وقت القصر، صغيرة جداً (*Short circuit level*)

عيوب هذا النظام :

١ - فى حالة حدوث قصر بين وجه والأرض يرتفع الجهد على الوجهين الآخرين بقيمة الجهد الخطى (١,٧٣ من قيمة الجهد على الوجه) فاذا استمر هذا الجهد على العوازل لمدة طويلة فقد تنهار العوازل ، ويمكن أن تصل قيمة الجهد على الأوجه السليمة الى ٤ - ٦ أضعاف قيمة الجهد على الوجه بسبب حدوث شرارات أرضية متكررة (*Arcing Ground*)


T
S
R
Ic(T)
Ic(S)
Ic(R)
IG = 0
IS + IT
Ic(S)
Ic(T)
CR
CS
CT
If
S
T
N
R
Ic(T)
IF
Ic(S)
(أ)


ES
ET
N
ER
(A)
الوضع العادى
ES
ET
N
ER
(B)
ER
N
ET
ES
(C)
(ب)
جهد الأرض

شكل (٩٣ - ١)

فى الخطوط الهوائية ..

٢ – قيمة تيار القصر بين الوجه والأرض صغير جداً ، ولا يكفى لتشغيل أجهزة الوقاية

٣ – فى حالة حدوث قصر لا يمكن تحديده بسهولة ، ويتم فصل جميع مغذيات المحطة والدخول بكابل بعد كابل ، حتى يتم تحديد الكابل العاطل ..

٤ – اذا حدث قصرين على نفس الوجه ولكن على كابلين مختلفين يصعب تحديد أماكن العطل الا باستعمال أجهزة دقيقة (*Earth Leakage Detector*) مستكشف التسرب الأرضى .

٥ – يمكن نشوء جهود عابرة مرتفعة (*Transients*) تكون ذات صفة تخريبية نتيجة توصيل مفتاح ، فى حالة وجود عطل بين وجه والأرض (الذى تصل قيمته الى ٤ – ٦ مرات جهد الوجه مع الأرض) ..

فى حالة عطل أرضى متقطع أو قوس أرضى (*Intermittent Ground Fault*) ينشأ ارتفاع فى الجهد خمسة أو ستة أضعاف قيمة الجهد على الوجه مع الأرض ، على الأخص فى الشبكات ذات الجهود المتوسطة ، وعلى ذلك يمكن حدوث انهيار بالعوازل فى أوضاع مختلفة عن مكان العطل ...

شكل (٩٣ – ١) ب يوضح هذه الظاهرة ..

فى حالة الاتزان العادية تكون متجهات الجهد للأوجه E_R , E_S , E_T تدور حول نقطة التعادل N بالسرعة التزامنية ـ نقطة التعادل الكهربائية هى مركز التماثل ، وتظل ثابته ولها جهد الأرضى ، ما دامت متجهات الجهد للأوجه تأخذ شكل المنحنى الجيبى ..

نفرض أن الوجه R حدث عليه قصر ولمس بالأرضى ـ متجهات الأوجه تصبح كما فى شكل (B) . اذا كان القصر يحتوى على فجوة أو قوس فان تيار القوس سوف يخمد عند هذه النقطة ..

يلاحظ أن جهد نقطة التعادل N (بالنسبة للأرض) سوف يحافظ على جهد الأوجه T, S, R متساوية وبقيمة الذروة لموجة الجهد المتغير .. خلال نصف الدورة الثابتة سوف ينعكس قطبا الجهد المتولد (المتجهات تدور ١٨٠°) ..

وسوف يصبح متجه الجهد للأوجه كما فى شكل (C) ـ يلاحظ أن جهد الوجه R ارتفع من الصفر الى حوالى ضعف الجهد على الوجه بالنسبة للأرضى ـ هذه القيمة للجهد يمكن أن تكون كافية لانهيار الفجوة وملامستها الأرض ـ أى أنها تساعد على اتصال الوجه R بالأرض مرة ثانية ـ اذا حدث هذا فان جهد الوجه R يصبح مساوياً لجهد الأرض ..

اذا استمر القصر لمدة ثانيتن تتكرر هذه العملية الى أن يصل جهد الوجه R الى خمسة أو ستة أضعاف قيمة جهد الوجه ..

ثانياً : نظم التأريض

تؤرض نقط التعادل فى شبكات الجهد العالى اما تأريضاً مباشراً مع الأرضى أو خلال معاوقة مناسبة (مقاومة ـ ممانعة ـ محول التأريض ..) ..

وقد وجد عملياً أن حدوث قصر بين الوجه والأرض يمثل من ٧٠ الى ٩٠ ٪ من أعطال الشبكات الكهربائية ، وهكذا ظهرت أهمية تأريض نقطة التعادل ..

مميزات نظم التأريض :

١ – حيث أن تيار القصر يمر فى دائرة القصر من الخط الى نقطة التعادل خلال الأرض ، فانه يمكن التخلص من القوس الأرضى المستمر عندما تكون الشبكـة غير مؤرضــة ..

٢ – يصل الجهد المرتفع الى أقل قيمة ـ حيث أنه فى النظام المعزول عن الأرض يسبب ارتفاع الجهد أضراراً كثيرة للمعدات الكهربائية من محولات وكابلات وعوازل وغيرها ...

٣ – تأريض نقطة التعادل يضمن أقصى تأثير على أجهزة الوقاية الآلية سريعة الآداء لحظة حدوث قصر أرضى . تحدث أغلب الأعطال فى شبكات الجهد العالى مع الأرض سواء كانت الشبكة تحتوى على كابلات أو خطوط هوائية ، وفى حالة ما تكون نقطة التعادل معزولة عن الأرض فان العطل يأخذ صورة قوس أرضى (*Arcing Ground*) فى حالة الخطوط الهوائية ، وتحدث دائرة قصر خطيرة ، ولا تعمل أجهزة الوقاية فى هذه الحالة ، مما ينتج عنه أضرار جسيمة للعزل الخاص بالمعدات الكهربائية ..

٤ – فى حالة التأريض المبـاشر فان الجهـــد لا يزيـــد عن الجهـــد بين الخط والخـط ($\sqrt{3}\,V_{ph}$) ، وتحت جميع الظروف يكون جهد نقطة التعادل صفر ، فلا يكون

هناك جهد عائم غير محدد (No Floating Voltage) فى حالة وجود التوصيل للأرضى ، وهذا يسمح بتقليل العزل لنقط التعادل للمحولات والمولدات ..

٥ – فى شبكات الجهد العالى وهى التى تحتوى على مولدات ذات سعة كبيرة ، تحتاج لاضافة بعض المعدات لتخفيض قيمة القصر ، وذلك باضافة معاوقة (مقاومة ، ممانعة ..) ، بين نقط التعادل والأرضى ، وتكون قيمة تيار القصر محددة بحيث تكفى لتشغيل أجهزة الوقاية الأرضية للمولد ..

٦ – اذا كانت نقطة التعادل متصلة مباشرة بالأرض ، أو خلال معدة لتخفيض قيمة التيار ، فان الشحنة الاستاتيكية الحادثة نتيجة الاحتكاك تتسرب الى الأرض (شحنات الصواعق) ، فتتلاشى جميع الأخطار على عوازل الخط والمعدات ..

٧ – نظام تأريض نقطة التعادل يكون أكثر أماناً للأشخاص والمعدات ..

تنقسم نظم التأريض الى :

١ – تأريض مباشر لنقطة التعادل مع الأرض *Effective Grounded*

٢ – تأريض نقطة التعادل خلال معاوقة مناسبة *Impedance Grounded*

(١) التأريض المباشر لنقطة التعادل مع الأرض

تعبير (*Effective Grounded*) تأريض فعال أصبح يحل مكان التعبير القديم (*Solidly Grounded*) تأريض راسخ .

يعرف التأريض المباشر لمحول بأن نقطة التعادل متصلة مباشرة بالأرض ، ولا يوجد أية معاوقة بين نقطة التعادل والأرض ..

يمكن أن تكون سعة محول ما (تأريض مباشر) صغيرة جداً بالمقارنة بحجم النظام لتكون مؤثرة فى ثبات (*Stabilizing*) الجهد من الوجه للأرض عند حدوث قصر أرضى للوجه ..

هذا يحدث عندما يستخدم محول تأريض لإعطاء مصدر تغذية لأجهزة الوقاية ..

يعرف التأريض الفعال (*Effective Grounded*) من

(*Section 32 - 1.05 of A IEE Standard No 32 May 1974*)

هو النظام (أو جزء من النظام) الذى يكون فيه $\frac{X_0}{X_1} < 3 \quad \& \quad \frac{R_0}{X_1} < 1$

لأية حالة تشغيل ولأى قيمة قدرة للمولدات

X_1 = *Positive Sequence Reactance of the System*

X_0 = *Zero Sequence Reactance of the System*

R_0 = *Fault Resistance (Zero sequence resistance)*

مثال :

شكل (٩٤ - ١) يوضح مكونات المثال

بفرض حدوث قصر عند *A* نجد أن :

1 - assume short circuit at A

المانعة المئوية المكافئة حتى هذه النقطة

$x_{1eq} = 25 + 7 = 32\ \%$

نسبة تيار القصر من تيار الحمل الكامل

$$I_{3ph} = \frac{100}{x_1} = \frac{100}{32} = 3.21 \text{ (full load current)}$$

$$I_{1ph} = \frac{3 * 100}{32 + 32 + 7} = 4.23 \text{ (full load current)}$$

$$\frac{x_o}{x_1} = \frac{7}{32} = 0.219 < 3$$

2 - assume short circuit at B

$x_{1eq} = 25 + 7 + 34 = 66\ \%$

$x_{oeq} = 7 + 120 = 127\ \%$

$$I_{3ph} = \frac{100}{66} = 1.51 \text{ (full load current)}$$

$$I_{1ph} = \frac{3 * 100}{66 + 66 + 127} = 1.16 \text{ (full load current)}$$

$$\frac{x_o}{x_1} = \frac{127}{66} \quad 1.19 < 3$$

(assume $R_o = o$)

من الواضح ان تكاليف تأريض نقطة التعادل تختلف باختلاف طرق التأريض وان ارخصها هو التأريض المباشر مع الارض – للاسباب التالية :

١ – تستخدم مانعة صواعق لنقطة التعادل متصلة على التوازى مع سكينة التأريض ، وفى حالة فصل سكينة الارض تمتص أية جهود زائدة على نقطة التعادل ، من خلال مانعة الصواعق ...

٢ – عدم الاحتياج لأي مساعدات للارض مثل مقاومة – ممانعة – معاوقة .. .

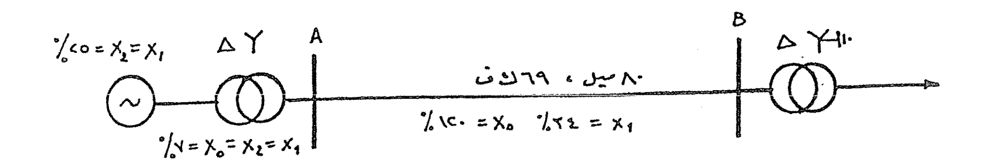
٣ – اذا كان توصيل المحول Y فتمثل هذه الحالة اقل التكاليف – اما اذا كان التوصيل d فيمكن استخدام احد صور التأريض للتوصيلة d وهذه تزيد التكاليف نسبيا ..

من مميزات هذا النظام ان قيمة التيار لجميع انوا ع القصر مع الارض كافية لتشغيل اجهزة الوقاية ..

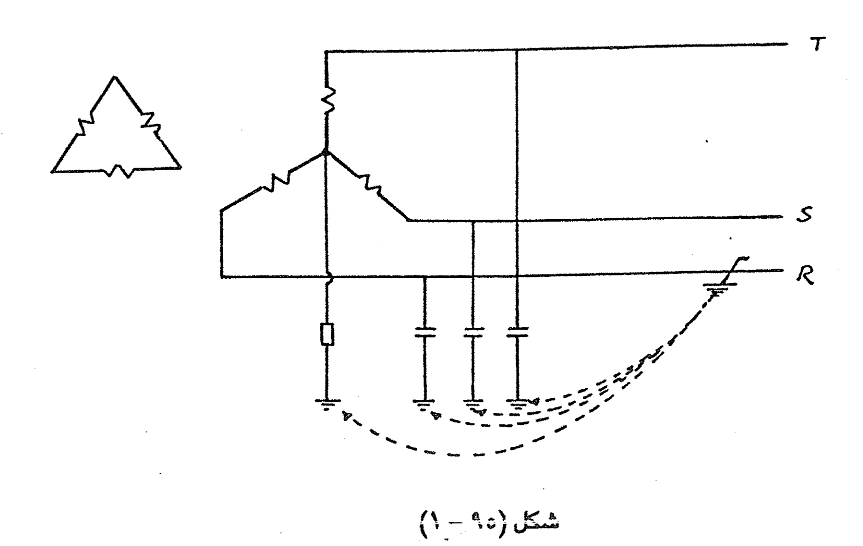
من عيوب هذا النظام (التأريض المباشر لنقطة التعادل) :

١ – تيار القصر فى حالة قصر مع الارض يكون كبيرا وقد يتعدى قيمة تيار القصر على الاوجه الثلاثة .. وفى هذه الحالة يحتاج الى مفاتيح لها سعة فصل *Design Value of S . C . MVA of C . B .* اكبر مما يلزم فى حالة فصل عند حدوث قصر للاوجه الثلاثة .

٢ – تيار القصر الارضى الكبير الذى قد يحتوى على مركبات ذات تردد عالى *High Frequency Oscillation* ، التى تتداخل فى بعض الحالات مع دوائر الاتصالات . وقد امكن التغلب على مثل هذه الظاهرة باستخدام اجهزة وقاية ومفاتيح لها سرعة اداء عالية



شكل (٩٤ – ١)



شكل (٩٥ – ١)

(High Speed) أى تعمل بزمن قصير جدا جدا لكى لا تتأثر بمثل هذه المركبات وفى بعض الاحيان يمكن مساواه سعة الفصل المطلوبة للمفاتيح بتيار القصر للاوجه الثلاثة ، وذلك باضافة ممانعة ارضية معتدلة بين نقطة التعادل للنظام والارض ..

نظام التأريض لمحول متصل بمولد يكون عادة d جهة المولد ، y جهة الضغط العالى ، وهذه يمكن تأريضها من خلال مقاومة أو ممانعة ..

أما فى محطات محولات خفض الجهد *(Step Down)* يكون توصيل d ناحية الضغط المتوسط (٣٣ ك . ف مثلا أو ١١ ك . ف) و y ناحية جهد التوزيع (٠,٤ ك . ف) يمكن تأريضها جهة الضغط المنخفض ..

٢ – تأريض نقطة التعادل من خلال معاوقة مناسبة *Impedance Grounded*

فى حالة وجود قصر بين الوجه والارض يكون تيار القصر كبيرا ، ولتخفيض قيمة تيار القصر بقيمة معينة تضاف معاوقة قياسية بين الارض ونقطة التعادل ، وهذه المعاوقة يمكن ان تكون فى صورة مقاومة (R) أو ممانعة ($\omega L = X$) كما فى شكل (٩٥ – ١) ومن الملاحظ انه فى حالتى الشبكة المعزولة والشبكة المتصلة مباشرة بالارض لا يتحقق نظام مرضى للتشغيل ..

فى حالة عطل بين الوجه والارض – فى نظام تأريض خلال معاوقة – لا يكون هناك خطر لاستمرار التغذية على اعتبار ان التيار عند نقطة العطل لا يسبب انهيارا سريعا – ويكون تيار القصر هو مجموع التيار السعوى *(Capacitive Current)* ، والتيار الفعال خلال معاوقة نقطة التعادل *(Active Current)* ، وفى كثير من التركيبات لهذا النوع فان قيمة المعاوقة فى التوصيل الارضى قد تتزايد ، الى حد أن التيارات الفعالة المعتدلة فقط هى التى تمر خلال نقطة القصر ..

نتيجة مرور تيار القصر الفعال *(Active Current)* فان القوس الارضى يمر بانتظامية اكثر عند نقطة القصر – التشغيل بخطأ مثل هذا يكون مسموحا به لزمن قصير وتيار القصر عموما لا يخمد ذاتيا – كما فى شكل (٩٥ – ١)

أنواع التأريض خلال معاوقة :

أ – تأريض نقطة التعادل خلال مقاومة *Resistance Grounded*

ب – تأريض نقطة التعادل خلال ممانعة *Reactor Grounded*

جـ – تأريض نقطة التعادل خلال ملف بيترسون *Petersen Coil*

نظام التأريض خلال مقاومة *Resistance Grounded*

يتم توصيل مقاومة مناسبة بين نقطة التعادل والأرض - وغالبا ما تكون قيمة مقاومة التأريض أكبر من قيمة ممانعة النظام - يحدد تيار القصر بين وجه والارض تبعا لمقاومة التأريض أو تحدد قيمة مقاومة التأريض تبعا لقيمة تيار القصر المراد مروره وقت القصر .. كما فى شكل (٩٦ - ١)

يجب أن يؤخذ فى الاعتبار قيمة فقد القدرة للمقاومة خلال قصر مع الارض

شكل (٩٧ - ١) يمثل العلاقة بين فقد القدرة ومقاومة التأريض (فى المائة) ، فقد القدرة تمثل بنسبة معدل *KVA* لسعة التوليد الموصلة (فى المائة) .

مثال :

$x_1 = x_2 = 16\%$ d   Y R

$x_1 = x_2 = x_0 = 8\%$

$$Z_0 = 3R + j8$$

$$Z_1 = Z_2 = j(16 + 8) = j24$$

$$\text{per unit fault current } I_f = \frac{3 * 100}{3R + j8 + j24 + j24} = \frac{300}{3R + j56}$$

Voltage drop across $R = E_R = I_f R$

P_R = the power loss in $R = I_f E_R = I_f^2 R$

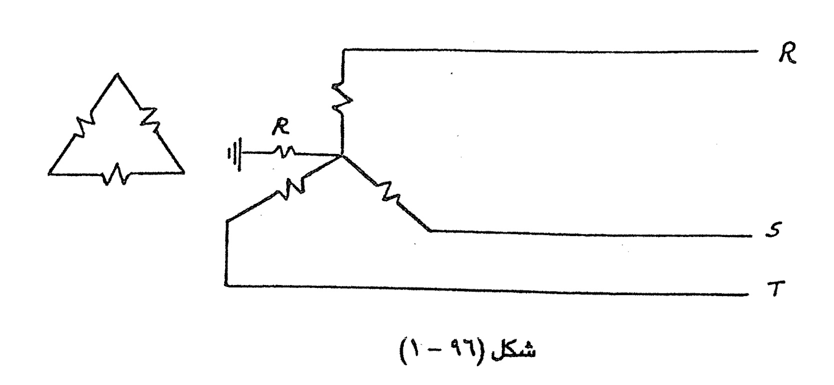
I_f , E_R in terms of normal values / phase

P_R in normal value / phase

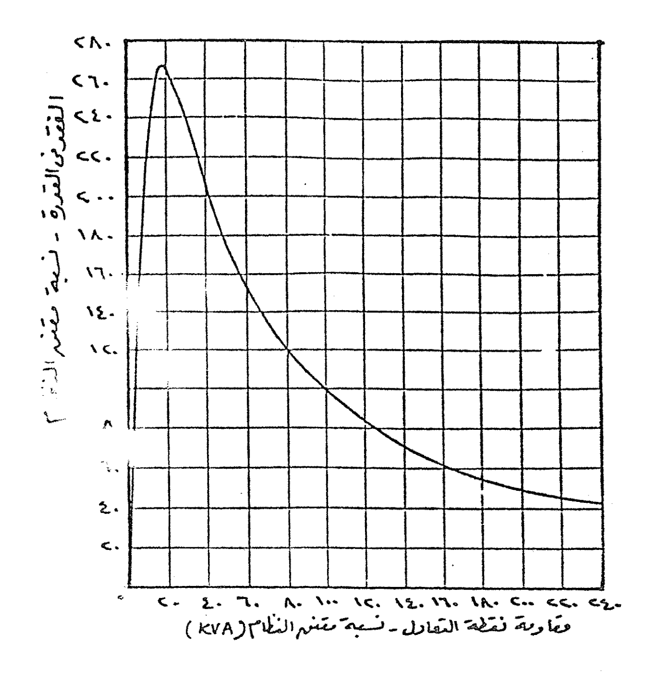
اذا كان فقد القدرة لمقاومة التأريض عبر عنها بدلالة نظام ثلاثى الأوجه،يجب القسمة على ٣ .

$$P_R = \frac{I_f^2 R}{3}$$

I_f in per unit , R in %



شكل (٩٦ – ١)



شكل (٩٧ – ١)

قيمة مقاومة التأريض تعتمد على :

١ - جهد النظام

٢ - سعة النظام

شكل (٩٨ - ١) يوضح العلاقة بين مقاومة التأريض وسعة النظام عند جهود مختلفة ، مع فرض ان قيمة القصر محددة بـ ٤/١ قيمة الحمل الكامل للنظام

(Full Load System Current) وهو يعنى مجموع التيارات لجميع سعات التوليد بالنسبة للجهد الاساسى *(Voltage Base)*

مع ملاحظة أن قيمة مقاومة التأريض هى محصلة مقاومات على التوازى ، اذا كان هناك اكثر من مقاومة تأريض مستعملة فان من شكل (٩٩ - ١)

if $R = 12$ ohms

$3R = 36$ ohms

$$R_{eq} = \frac{3 * 12}{2} = 18 \text{ ohms}$$

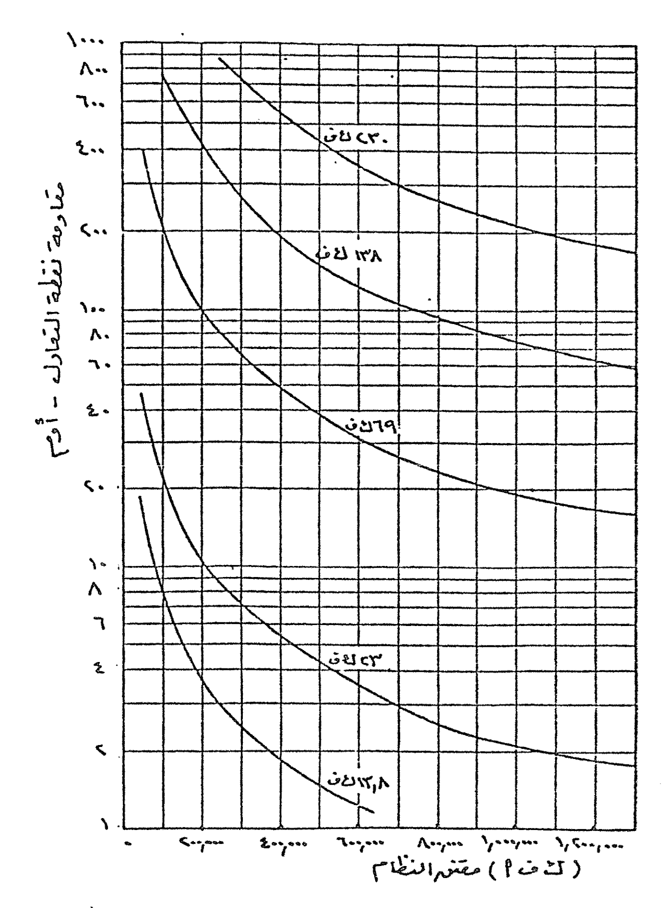
مميزات نظام التأريض خلال مقاومة :

١ - يكون تيار القصر كافيا لتشغيل أجهزة الوقاية ..

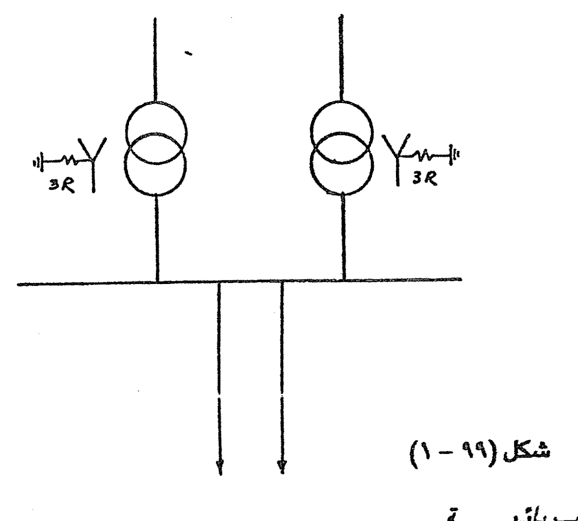
٢ - تقليل مخاطر القوس الارضى ، وبالتالى تقل مخاطر الجهود الفجائية العالية ، التى تحدث فى نظام التأريض المعزول ..

٣ - يكون تيار القصر اقل منه فى نظام التأريض المباشر .

٤ - يمكن أن يتحسن اتزان الشبكة *(Network Stability)* خلال قصر أرضى ، حيث أن الانخفاض فى القدرة نتيجة انخفاض الجهد تقريبا تساوى فقد القدرة خلال المقاومة وبالتالى يقل التقدم فى زاوية التوليد .



شكل (٩٨ – ١)



شكل (٩٩ – ١)

التأريض خلال ممانعة Reactance Grounded System

هى حالة وسط بين التأريض المباشر لنقطة التعادل ، والتأريض خلال ملف .التأريض خلال ممانعة تتم بتوصيل معاوقة (Impedance) بين نقطة التعادل والارض ..

هذه المعاوقة غالبا ما تكون فى صورة محول تأريض (Grounding Transformer) ، ويستخدم فى حالة المحولات الموصلة d ويراد تأريضها ، ومحول التأريض عبارة عن ملفين بنسبة ١ : ١ وتوصيلهم Z كما فى شكل (١٠٠ - ١) .

مواصفات محول تأريض :

- Class OA
- 3 - phase
- 50 Hz
- Voltage Rating 11000 V zig zag
- Designed to introduce 22.29 ohm impedance between each Line terminal and neutral .
- To carry 850 Amp through the neutral bushing to ground for 10 sec without exceeding a final temperature of 218 ^{o} c .

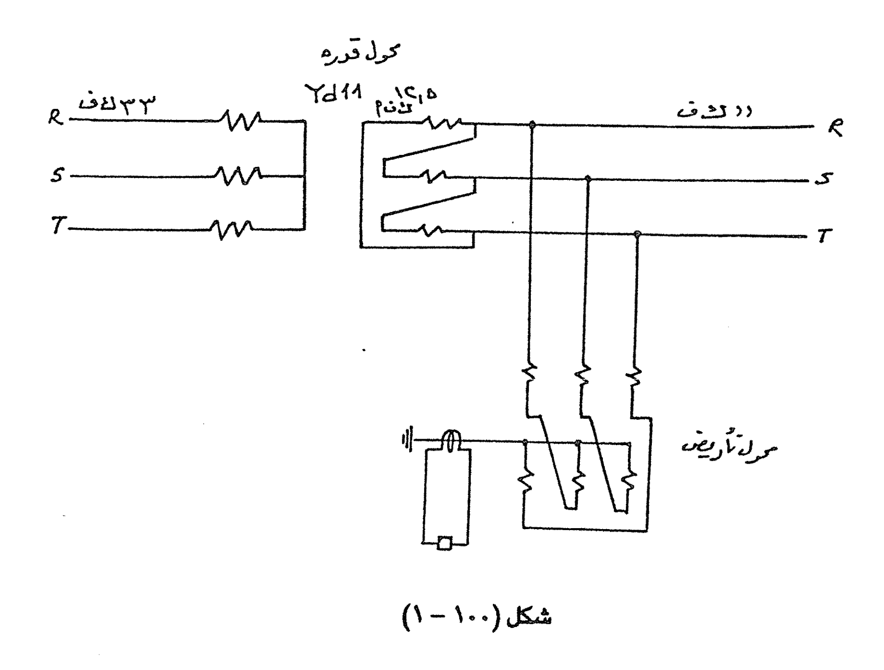
ملحوظة :

محول التأريض (Grounding Transformer) عبارة عن(Short - Time Device) ، أى يعمل لمدة زمنية قصيرة مقيدة ، وهى زمن العطل فقط ، ولذلك فان حجمه وتكاليفه تنقص كثيرا عن محول له نفس القدرة ، ولكنه (Continuous - Duty Transformer) فى خدمة مستمرة .

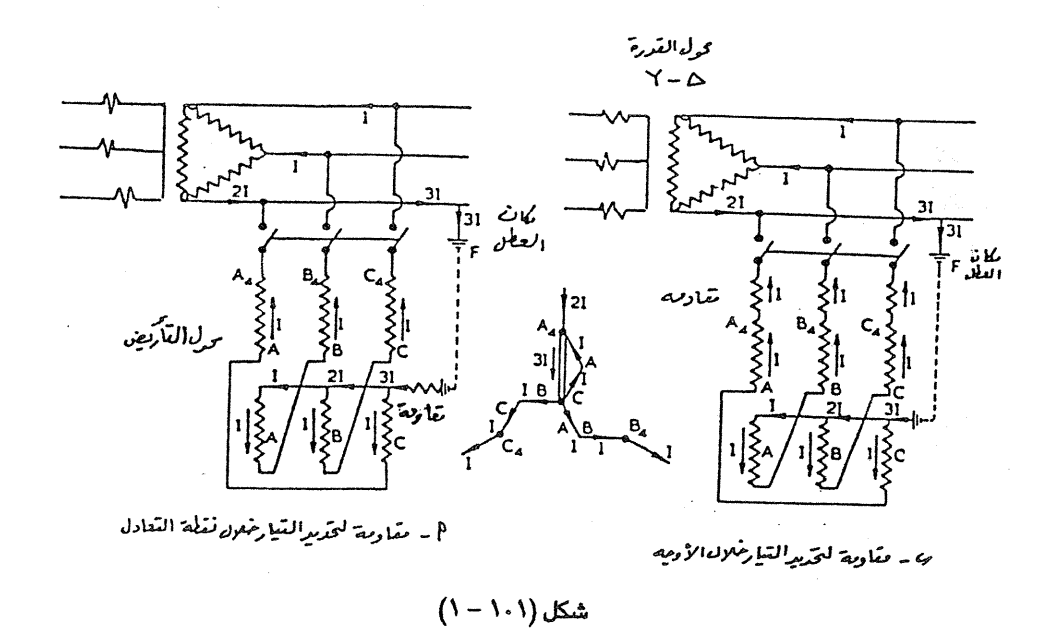
تأريض المحولات الموصلة دلتا (Delta)

أحيانا يكون من المرغوب تأريض شبكة مغذاه من محولات قدرة أحد ملفاتها موصلة d ، وفى هذه الحالة نقطة التجميع تتم صناعيا من خلال اجهزة معدة خصيصا لهذا الغرض، وهذه الاجهزة عادة تأخذ شكل توصيلة y داخلية أو محول (yd) .

شكل (١٠١ - ١) يمثل محول تأريض ذو توصيلة y داخلية [محول بتوصيل متعرج



شكل (١٠٠ - ١)



شكل (١٠١ - ١)

(Zig Zag)] ، بينما شكل (١٠٢ - ١) يمثل محول تأريض Yd

محول التأريض ذو توصيلة y داخلية يشابه فى تركيبه محول ثلاثى الاوجه ذا القلب الحديدى (Core Type) ، ولكنه يحتوى على ملف واحد فقط على كل فرع ، ينقسم الملف الى جزئين ، وهو متصل داخليا كما فى شكل (١٠٣ - ١) ، ويكون عادة مغمورا فى الزيت . وعلى هذا فان المحول يشابه محول ذاتى بنسبة ١ : ١ ، بينما الجهد بين كل خط والارض يكون ثابتا فى حالات التشغيل العادية .

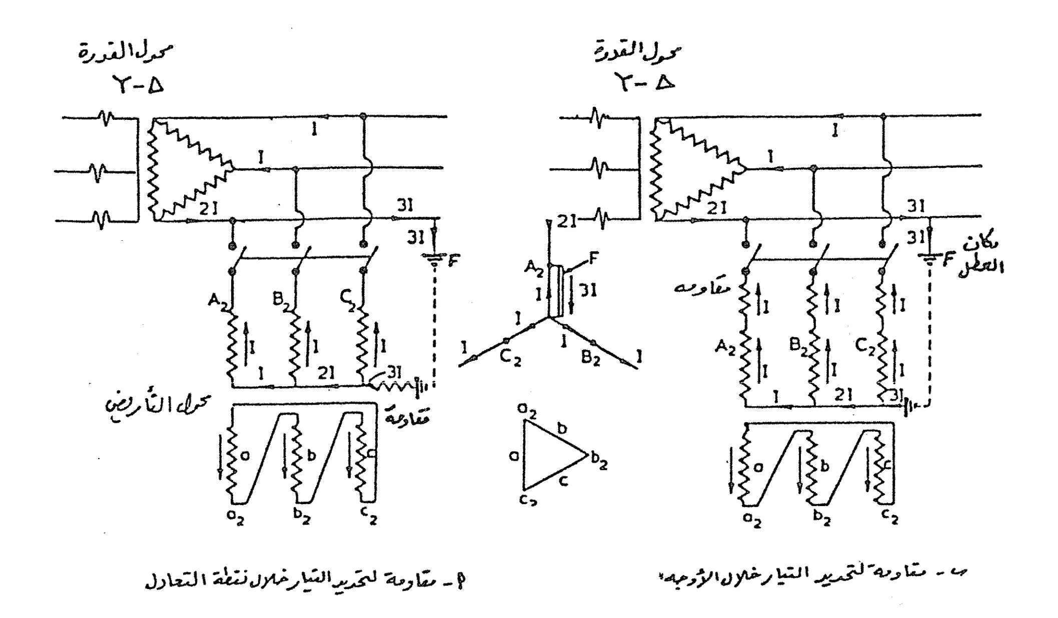
فى حالة حدوث قصر فان مقاومة المحول تكون أقل مقاومة يمر خلالها تيار القصر الارضى ، كما يحدث فى حالة حدوث قصر فى شبكة تحتوى على نقطة تجميع مؤرضة ..

فى حالة التشغيل العادية فان التيار المار خلال ملفات محول التأريض يكون عبارة عن تيار المغنطة ، وعادة تكون الملفات مصممة بحيث تتحمل مرور أقصى تيار قصر مناسبا لها لمدة ٣٠ ثانية .

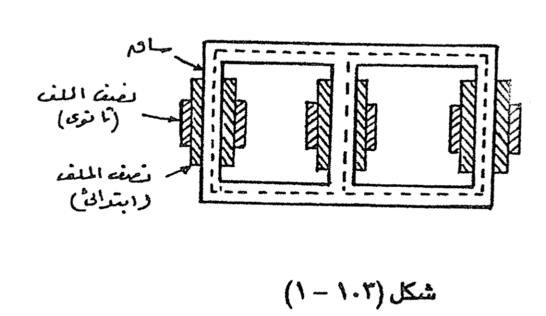
هناك نوع آخر من محولات التأريض عبارة عن محول ثلاثى الاوجه ذى قلب حديدى ، يحتوى على ملفين d , y ، يوصل الملف الابتدائى الموصل y على اطراف المحول المراد تأريضه ، والمحتوى على ملف d ، اما الملف الثانوى d فانه يوصل دلتا مغلقة كما فى شكل (١٠٢ - ١) . فى الحالة العادية يكون التيار المار فى الملف الابتدائى لمحول التأريض عبارة عن تيار المغنطة ، ولكن فى حالة حدوث قصر أرضى فان الدلتا المغلقة فى محول التأريض تعمل على توزيع تيار القصر على الاوجه الثلاثة للملف الابتدائى لمحول التأريض ، وعلى ذلك فان الامبير - لفة فى الملفين يكون متزنا ، وبالتالى لا ينتج أى تأثير من الصدمات العابرة ..

ويمكن تمثيل مقاومة محول التأريض بممانعة كما فى محولات القدرة ..

اذا كانت قيمة ممانعة محول التأريض غير مناسبة لتخفيض حدود قيم تيارالقصر الارضى للشبكة الكهربائية ، فانه يمكن اضافة مقاومة مناسبة مع محول التأريض لتخفيض حدود قيم تيار القصر الارضى ، وفى هذه الحالة يمكن أن توضع هذه المقاومة اما بين نقطة تجميع محول التأريض والارض ، أو بين أطراف محول التأريض والخط ، كما فى شكلى (١٠١ - ١) ، (١٠٢ - ١) .



شكل (١٠٢ – ١)



شكل (١٠٣ – ١)

فى حالة استخدام مقاومة واحدة بين نقطة التجميع والارض يجب ان تصمم بحيث يمر بها مجموع تيار القصر الارضى ، بينما يجب ان يكون جهد العزل مساويا جهد وجه النظام ، ومن ناحية اخرى باعتبار حالة قصر فان نقطة التجميع للملفات محول التأريض سوف ترتفع لجهد أعلى من جهد الارض (مساويا لإنخفاض الجهد على المقاومة) ، ولكن عزل ملفات محول التأريض يجب ان يتحمل جهدا مساويا لجهد الوجه ..

وعلى أية حال فى حالة اختيار الحالة الاخيرة فليس من المستحب تعريض ملفات محول التأريض الى موجة جهد مفاجئة اعلى من التى يمكن ان يتحملها ، حيث ان هذه الملفات المعزولة هى أضعف جزء فى المعدة ، ولذلك يتم استخدام المقاومات المناسبة لتوضع بين اطراف محول التأريض والخطوط ، بدلا من أن توضع بين نقطة التجميع والارض ، تماما لخدمة نفس الغرض لتخفيض حدود قيم تيار القصر ..

هذا بالاضافة الى أن جهد نقطة تجميع محول التأريض يظل جهد الارض دائما ، وبالتالى فان الملفات لا تتعرض لاية جهود عالية ، ومن ناحية أخرى فان جهد العزل للمقاومات يجب أن يكون الجهد الكامل للخط ، ولكن هذا أسهل نسبيا وأرخص ، اذا أخذنا فى الاعتبار قيمة تيار القصر ، والانخفاض فى الجهد خلال المقاومات ، ذلك لان قيمة المقاومة بالاوم ، المركبة بين اطراف محول التأريض والخط ، تصل الى ثلاثة أمثال قيمة المقاومة بالاوم ، لو كانت مركبة بين نقطة التجميع والارض ، ولكن قيمة التيار المقنن للمرور فى المقاومة فى الحالة الاولى يكون ثلث قيمة التيار فى الحالة الثانية ، حيث أنه فى حالات العطل تعمل المقاومات الثلاث فى الاوجه على التوازى للحصول على الحماية المطلوبة .

جـ - تأريض نقطة التعادل خلال ملف (النظام المؤرض بالرنين) *Resonant Grounded System*

كذلك يطلق على هذا النظام اسم ملف پيترسون / ملف اخماد القوس الكهربى *(Petersen Coil/Arc Suppression Coil)* عادة تكون نقطة التعادل بشبكات الضغط العالى معزولة ـ ولكن لكى تعمل الأجهزة خلال الأعطال الأرضية ، يجب إضافة ملف اخماد القوس الكهربى خلال نقطة التعادل لمحول القدرة . من خلال الملف يتم تعادل تيار ملف اخماد القوس مع التيار السعوى بحيث يكون تيار القصر الأرضى (الفرق بين تيار الملف والتيار السعوى) صغيراً جداً أو مساوياً للصفر . وعلى ذلك فان القوس الكهربى

يخمد عند نقطة القصر (نتيجة صفر تيار القصر) ، وبالتالى يمكن تجنب احتراق الموصلات وانهيار عزل المعدات ...

فى حالة استخدام نظام تعادل سليم يمكن عمل النظام خلال قصر أرضى لمدة زمنية طويلة نسبياً ، حتى يتم التعادل بين التيارات ، وعلى ذلك فمن الضرورى أن يكون تيار ملف اخماد القوس يساوى تقريباً التيار السعوى الذى يتغير كثيراً ـ ليس فقط نتيجة العمل على الخط ، ولكن أيضاً نتيجة التأثر بدرجة الحرارة ـ الغطاء الثلجى ـ الذبذبة ..

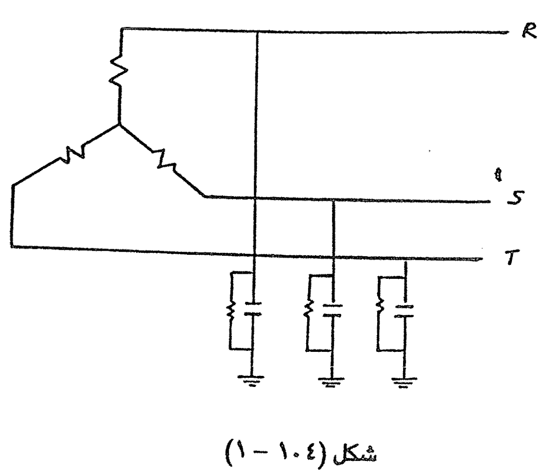
ملف اخماد القوس عبارة عن ملف ذى ثغرة هوائية ، يوصل بين نقطة التعادل لمحول القدرة والأرض ـ يمكن الحصول على قيم مختلفة لتيار ملف اخماد القوس عن طريق تغيير الثغرة الهوائية ، اما باستخدام نقط تفرع أو باستخدام محرك كهربى ، يغير الثغرة الهوائية ..

فى الظروف العادية لتشغيل الشبكة الهوائية ـ لا توجد أعطال أرضية ـ فان تيار التسريب والتيار السعوى المتولد من جهد المصدر ، يمر خلال مقاومة التسريب والمكثف لكل وجه ، كما فى شكل (٤-١٠ - ١) .

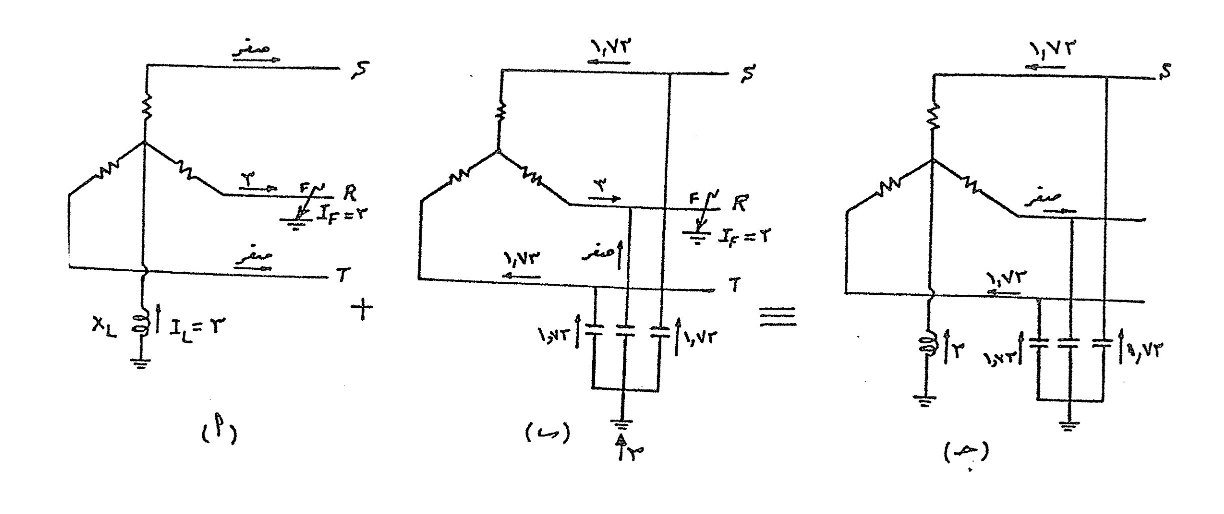
نتيجة عدم اتزان جهد مكثفات الأرض وجهد مقاومة التسريب ينتج ما يسمى بجهد عدم الاتزان ، ويكون عادة عند نقطة تعادل الشبكة بالأرض ...

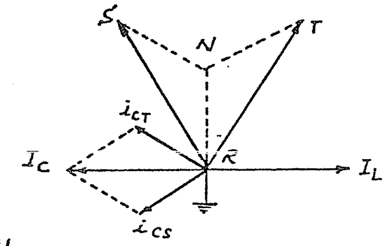
عند توصيل ملف اخماد القوس يرتفع جهد عدم الاتزان الى قيمة جهد نقطة التعادل ـ وجهد عدم الاتزان يكون عادة أقل من ١ ٪ من الجهد المقنن ، ويكون جهد نقطة التعادل أقل من ١٠ ٪ من قيمة الجهد المقنن . غالباً ما تكون قيمة مقاومة التسريب كبيرة جداً ويمكن اهمالها . عند حدوث قصر بين وجه والأرض فان جهد هذا الوجه يصبح جهد الأرض، ويرتفع على الوجهين الآخرين خلال المكثفات الى جهد الخط ، وبالتالى يرتفع التيار المار فيهما ويعود خلال القصر الأرضى ..

فاذا كان التيار المار فى الملف I_L الى الأرض ، فانه يتم ضبط خطوة الملف بحيث يتساوى تيار الممانعة I_L مع التيار السعوى I_C للشبكة ، وفى هذه الحالة يكون تيار القصر للوجه مع الأرض يساوى صفراً ..



شكل (١٠٤ – ١)





شكل (١٠٥ – ١)

يمكن تمثيل هذه الحالة كما فى شكل (١٠٥ - ١) حيث يمثل شكل (أ) حالة وجود ملف فقط ويمثل شكل (ب) حالة وجود مكثف فقط ، وشكل (جـ) فى حالة جمع الحالتين، وفى هذه الحالة يكون تيار القصر I_F يساوى صفراً ، وهو ما يسمى بالتعادل بين تيار ملف اخماد القوس والتيار السعوى .

ويمكن تمثيله اتجاهياً كما فى الشكل (د) ، حيث يتضح أن جهد الأرض يساوى جهد الوجه ، وأن تيار ملف الاخماد يساوى ويضاد التيار السعوى عند نقطة القصر .

إستخدمت هذه الطريقة بنجاح فى حالة الضغوط العالية ، وفى الخطوط الهوائية الطويلة (أكثر من ٢٠٠ ميل) .

يفضل أن يكون تيار القصر فى نقطة التعادل I_L يساوى أو أكبر من التيار السعوى I_C .

الجدول التالى يوضح تيار القصر لنقطة التعادل لكل ميل (فى حالة البرج الذى يحتوى على خط واحد) .

Voltage Kv	Ampere
23.0	0.145
34.5	0.200
46.0	0.260
69.0	0.390

فى حالة الكابلات يراعى الآتى :

١ ميل كابل ثلاثى الاوجه = ٢٥ ميل للخط الهوائى

١ ميل كابل أحادى الوجه = ٥٠ ميل للخط الهوائى

فى حالة الخطوط أقل من ٢٠٠ ميل يفضل قياس I_C للشبكة .

مثال :

ملف إخماد القوس ذو الضبط التدريجى - تبريد زيت - أحادى الوجه

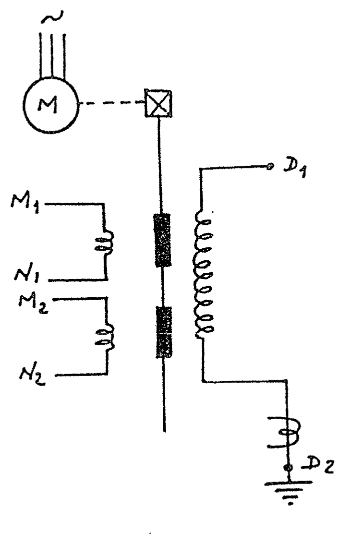
Technical Data :

Type	ZTCc 1250	النوع
Rated Network Voltage	11 Kv 50 Hz	جهد الشبكة المقنن عند التردد
Rated Output	1270 KVAr	جهد المخرج المقنن
Arc Suppression Coil Rated	6.36 Kv	مقنن الجهد للف تخميد القوس
Rated Current	200 A	مقنن التيار
Regulation Range	30-60 A	مدى التنظيم
Load	120 MIN	فترة الحمل
Cooled	Oil	التبريد
Permissible temp. of D1 , D2	75°C	درجة الحرارة المسموح بها(D_2 , D_1)
Permissible temp. of oil	70°C	درجة الحرارة المسموح بها فى الزيت
Motor drive	3 x 380 V	مواصفات محرك الادراة
	2.6 A , 1.1 kv , 50 Hz	

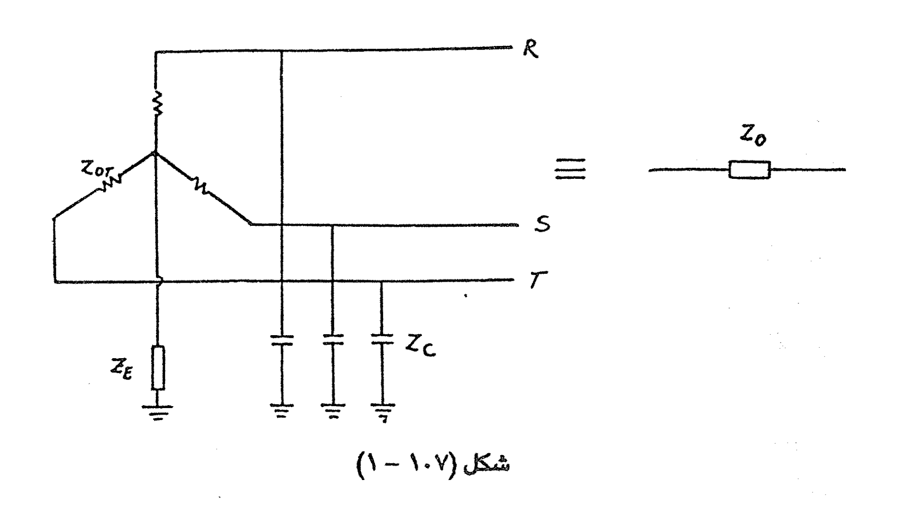
فى هذا النوع يتم تغيير قيمة I_L عن طريق تغيير الثغرة الهوائية فى الدائرة المغناطيسية ، أى تغيير المقاومة المغناطيسية ، وذلك بواسطة محرك كهربى كما فى شكل (١٠٦ - ١) .

يتكون ملف إخماد القوس من ملف رئيسى D_1, D_2 ، لا يحتوى على نقط تقسيم *(Not Tapped)* وملف قدرة ثانوى M_2, N_2 بحد أقصى ٢٠٪ من معدل المخرج للف إخماد القوس يزمن حمل حتى ٦٠ ثانية - كذلك ملف مساعد ثانوى M_1 , N_1 لقياس قيمة الجهد بالملف (١٠٠ ڤولت) .

يلاحظ أن قيمة مقاومة الارض الوقائية لشبكات الضغط العالى تكون بحد أقصى واحد أوم وفى هذه الحالة تكون التوصية بتوصيل ملف إخماد القوس للتأريض من نقطة التعادل بالشبكة الكهربية .



شكل (١٠٦ - ١)



شكل (١٠٧ - ١)

ملحوظة :

قيمة Z_0 فى حالة التعادل خلال ممانعة

المعادلة العامة لقيمة (Z_0) من شكل (١٠٧ – ١) هى :

$$Z_0 = \frac{(3 Z_E + Z_{OT}) Z_C}{(3 Z_E + Z_{OT}) + Z_C}$$

والحالات المحتملة هى :

حالة رقم ١

$$|3 Z_E + Z_{OT}| = |Z_C|$$

$$\therefore \quad I_L = I_C$$

تمثل حالة تأريض نقطة التعادل خلال ملف ، وفى هذه الحالة تكون Z_0 كبيرة جداً ، وبالتالى يوجد تيار تسريب صغيراً جداً فقط ، يمر الى الارض .

قيمة تيار القصر بين وجه والارض يساوى صفراً ، وأكبر قيمة للتيار هى قيمة تيار القصر للاوجه الثلاثة .

حالة رقم ٢

$$|3 Z_E + Z_{OT}| > |Z_C|$$

$$\therefore \quad I_L < I_C$$

Z_0 فى هذه الحالة ذات قيمة ، ولكن يظل تيار القصر بين وجه والارض صغيراً جداً ، وأصغر من تيار القصر خلال نظام نقطة التعادل عندما تكون معزولة .

حالة رقم ٣

$$|3 Z_E + Z_{OT}| < |Z_C|$$

$$\therefore \quad I_L > I_C$$

Z_0 فى هذه الحالة تزيد ، وإذا كانت قيمة$|Z_{OT} + 3 Z_E|$على الاقل نصف قيمة Z_C،
فإن تيار القصر لا يزال صغيراً جداً ، وأقل من تيار القصر فى حالة قصر فى نظام نقطة التعادل المعزولة .

الباب الثانى

٢ - ١ طرق التبريد *Methods of Cooling*

يمكن الحفاظ على الاتزان الحرارى بالمحولات ، عن طريق تحديد مفقودات عدم التحميل (No Load Losses) وكذلك مفقودات التحميل (On Load Losses) بالمحولات ، بحيث يكون ارتفاع درجات الحرارة المسموح بها حسب المواصفات القياسية ، خلال التشغيل العادى للمحولات .

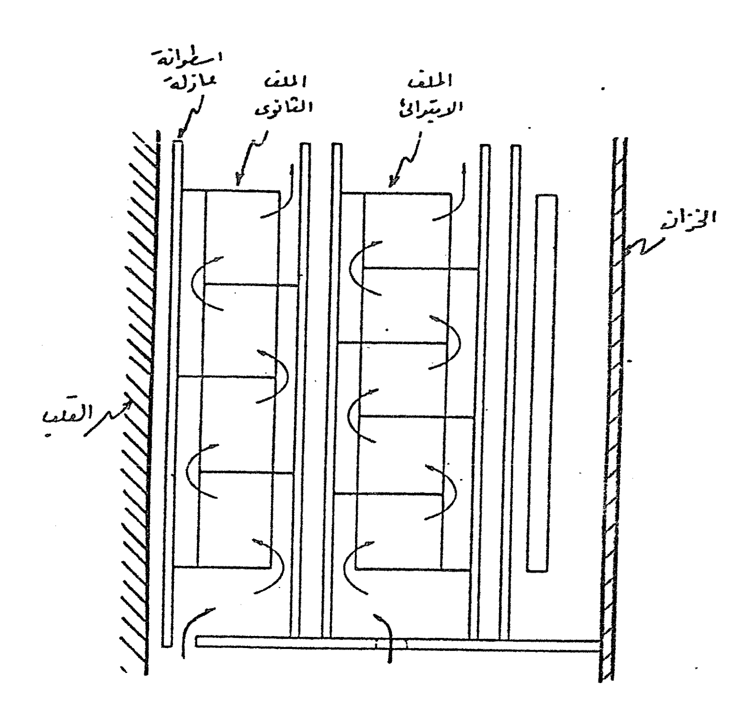
وعلى هذا فمن الضرورى ، تجهيز المحولات بمعدات تبريد ، وهى تعتمد على نوع وسط التبريد وقدرة المحولات .

تكون جميع المحولات الكبيرة مغمورة فى الزيت ، وبالاضافة لاستخدام الزيت كعازل ، فانه يستخدم كوسط لتبريد الملفات ، ويعتمد ارتفاع درجة حرارة الملفات على الحرارة المتولدة بالملفات ، ومعدل مرور الزيت على سطح الملفات لتبريدها . ويوجه الزيت للمرور خلال ممرات للتبريد ، وهذا أما أن تكون أفقية أو رأسية حسب نوع الملفات . فمثلاً الملفات من النوع اللولبى والقرصى ، فان المساحة الكبيرة من الأسطح تكون أفقية وبالتالى تحتاج الى ممرات أفقية . ويتحدد مسار مرور الزيت المرغوب فيه . يوضع حواجز خلال ممرات الزيت ، ويكون المرور بالتناوب بين ممرات الزيت الداخلية والخارجية ، علماً بأن الزيت يتحرك من أسفل الملفات الى أعلاها بفعل التيارات الحرارية ، فعندما يصعد الزيت الساخن أعلى الملفات ، ينزل خلال الزعانف ، فيبرد اثناء نزوله حتى يستقر أسفل الملفات ، وعندما يسخن بالحرارة الناتجة عن الملفات يصعد إلى اعلى ، وهكذا .

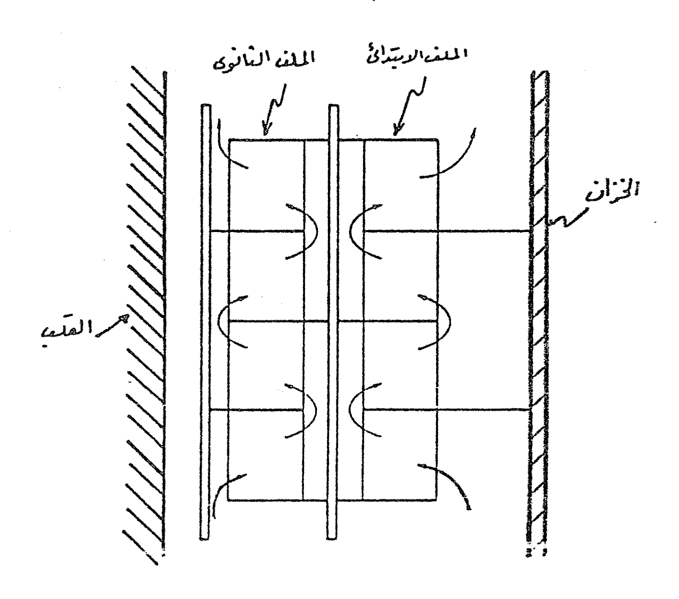
شكل (٢-١) يمثل اتجاه مرور الزيت فى محول يحتوى على عدد ٤ ملفات ثانوية ، وعدد ٥ ملفات ابتدائية ، حيث ان اتجاه الزيت فى الملفات الخارجية غير موجه .

شكل (٢-٢) يمثل اتجاه مرور الزيت فى محول يحتوى على عدد ٤ ملفات ثانوية،وعدد ٤ ملفات ابتدائية ، حيث أن اتجاه الزيت فى الملفات محدد ، وعلى ذلك فان معظم المحولات (فيما عدا المحولات الجافة) يكون وسط التبريد الداخلى زيت ، اما بتقليب طبيعى ، أو جبرى غير موجه ، أو جبرى موجه ، ويكون وسط التبريد الخارجى أما هواء بتقليب طبيعى ، أو جبرى غير موجه أو جبرى موجه ، أو مياه جبرى غير موجه .

جدول (٢-١) يوضح نوع وسط التبريد ، والرموز المستخدمه .


اسطوانة عازلة
الملف الثانوى
الملف الابتدائى
الخزان
القلب

شكل (١ -٢)


الملف الثانوى
الملف الابتدائى
الخزان
القلب

شكل (٢ -٢)

جدول (٢-٢) يوضح نوع التقليب ، طبيعى - جبرى موجه - جبرى غير موجه ، والرموز المستخدمة .

يتم ترتيب الرموز المستخدمه للتبريد ، حسب المواصفات القياسية العالمية ، بحيث توضح الرموز نوع وسط التبريد للملفات ، نوع التقليب للوسط المستخدم مع الملفات ، نوع وسط التبريد خارج المحول ، نوع التقليب لوسط التبريد خارج المحول .

جدول (٣-٢) يوضح ترتيب الرموز المستخدمة لعمليات التبريد .

جدول(١-٢)

الحروف الرمزية المستخدمة لطرق تبريد المحولات

نوع وسط التبريد		حرف الرمز	
زيت معدنى	(Mineral Oil)	ز	O
سائل صناعى عازل	(Askarel)	س	L
غاز	(Gas)	غ	G
مياه	(Water)	ى	W
هواء	(Air)	هـ	A
عازل صلد	(Solid Insulant)		S

جدول(٢-٢)

نوع التقليب		حرف الرمز	
طبيعى	Natural	ط	N
جبرى (زيت غير موجه)	Forced	ج	F
جبرى (زيت موجه)	Forced and guided in the winding	م	D

جدول(٣-٢)

ترتيب الرموز

الحرف الاول	الحرف الثانى	الحرف الثالث	الحرف الرابع
يوضح وسط التبريد الملامس مباشرة للملفات		يوضح وسط التبريد الملامس لنظام التبريد الخارجى	
نوع وسط التبريد	نوع التقليب	نوع وسط التبريد	نوع التقليب

أى أن الحرف الأول والثالث يوضحان نوع وسط التبريد ، ويستدل عليه من جدول رقم (١-٢)

الحرف الثانى والرابع يوضحان نوع التقليب ، ويستدل عليه من جدول رقم (٢-٢) .

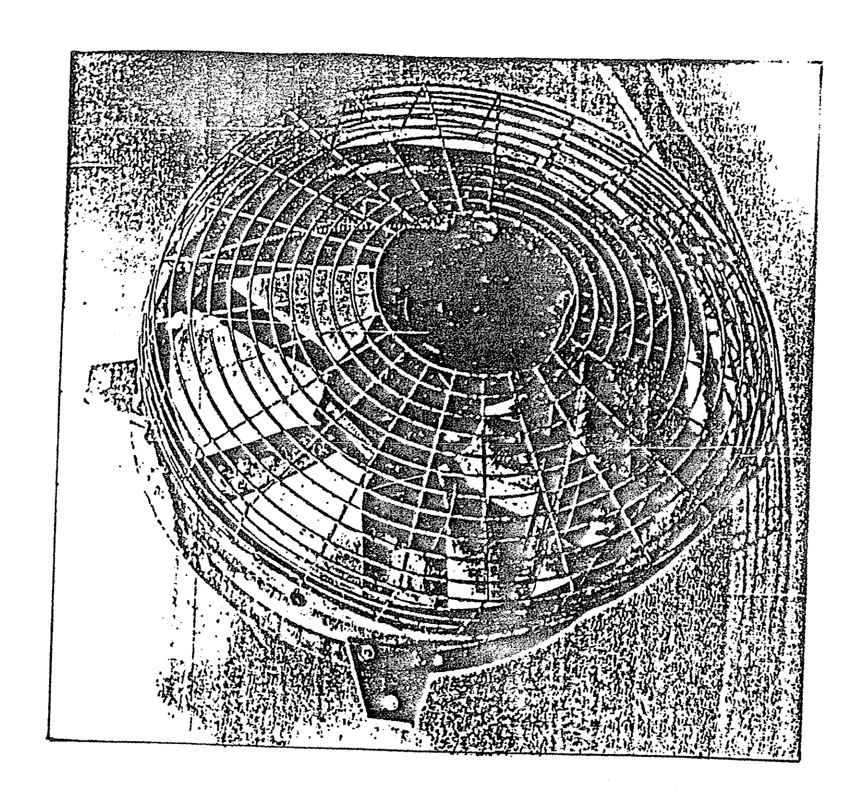
المحولات الجافة التى ليس لها هيكل خارجى (خزان) يرمز لوسط التبريد برمزين فقط للدلالة على وسط التبريد الملامس للملفات ، أو العازل المغلف لأسطح الملفات ، والذى يكون مغطى بالكامل بطبقة خارجية مثل راتنجات الارلديت (الابيوكس) .

مبردات الهواء *Air Coolers*

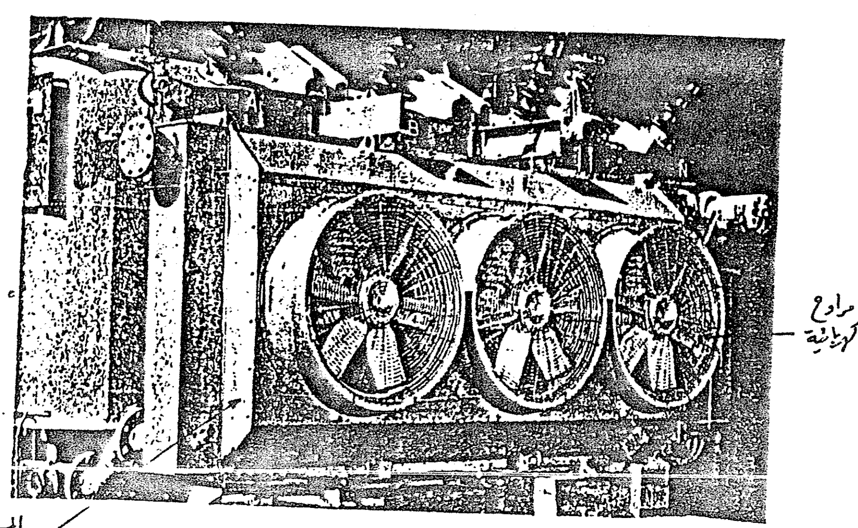
يستخدم الهواء المحيط بجسم المحول كمبرد عن طريق مشعات *(Radiators)* والتى تكون مملوءة بزيت المحولات ، ويبرد الزيت بالهواء المحيط بها . فى هذه الحالة تعرف بالتبريد بالهواء الطبيعى ، مثال ذلك محولات التوزيع . فى محولات القدره تستخدم مراوح تثبيت أما رأسياً على المشعات أو افقياً اسفل المشعات ، وذلك للحصول على معدل تبريد عالى ، ويختلف عدد المراوح وحجمها من محول الى آخر وكلما ارتفعت قدرة المحول كلما زاد معدل التبريد .

شكل(٣-٢) يوضح مروحة بمحرك .

شكل (٤-٢) يوضح محول قدره مركب عليه عدد ثلاثة مراوح بمحرك مركبه على المشعات رأسياً .



شكل (٣ -٢)



شكل (٤ -٢)

شكل (٥- ٢) يوضح محولاً ذا قدرة كبيرة ، مركب عليه عدد ٩ مراوح بمحرك مركبه على المشعات رأسياً

يتم تشغيل المراوح عن طريق دوائر تحكم يتم تشغيلها مرحلياً حسب درجة الحرارة ، فعند وصول درجة حرارة الملفات الى درجة معينة ـ نتيجة ارتفاع الحمل ـ تعطى اشارة لتشغيل مجموعة من المراوح وعند الوصول إلى درجة حرارة أعلى يتم تشغيل المجموعة الثانية للمراوح . فى هذه الحالة يسمى التبريد الخارجى تبريد هواء جبرى *(Forced Air)* . شكل (٦-٢) يوضح كيفية تركيب مراوح بالمحركات على مشعات محول ويبين اتجاه التيارات فى وسط التبريد الخارجى (الهواء) واتجاه التيارات فى وسط التبريد الداخلى (الزيت) وتوضع شروط لتتحكم فى المسافة بين هيكل المحول ، والمشعات بحيث لاتقل عن متر واحد ، كما يجب الا تزيد المسافة عن ثلاثة أمتار ، وعند تركيب المراوح يجب التأكد من اتجاه دورانها بحيث يجعل اتجاه الهواء خارجاً عبر المشعات كما فى شكل (٦-٢) .

شكل (٧-٢) يوضح مضخة تدار بمحرك (Motor Pump) لتقليب زيت المحول ، وهو ما يطلق عليه تبريد موجه ويستخدم فى محولات القدرة ذات القدرات الكبيرة جداً .

المبردات بالمياه *Water Cooolers*

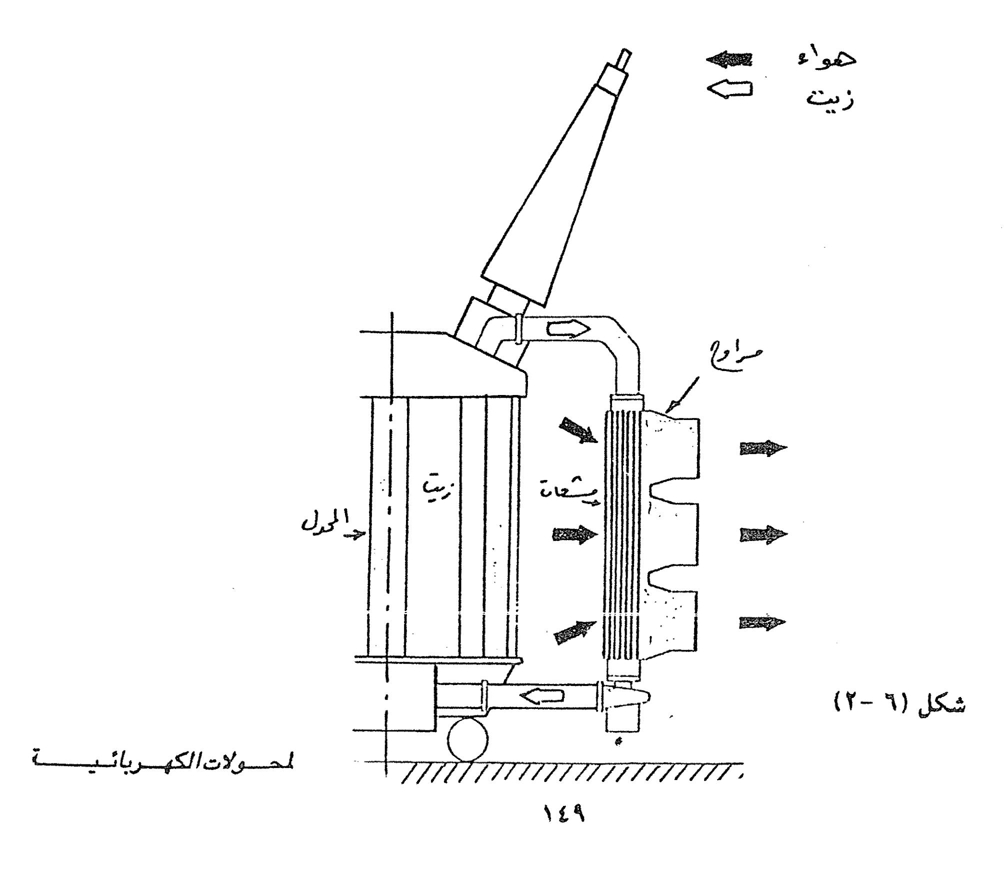
عندما تكون المفقودات المتبددة كبيرة جداً ، مع الأخذ فى الاعتبار ان مساحة الانشاءات محدودة ، فانه يلزم استخدام مبردات ذات كفاءة عالية جداً، وعلى ذلك فاستخدام المياه يصبح ضرورياً . فى هذا النوع من التبريد تستخدم انابيب لمرور المياه تحيط بالمحول ويتم ضخها بوساطة مضخة تدار بمحرك . ونرى فى شكل (٨-٢) صورة محول مجهز بمبردات مياه . شكل (٩-٢) يوضح اتجاه وسط التبريد الخارجى (المياه) واتجاه وسط التبريد الداخلى (الزيت) ـ يلاحظ أن خزان التهوية يكون فى مستوى أعلى من المشعات لضمان وصول المياه إلى كل أجزاء المبرد ، وعدم تكون فقاعات هوائية داخل المبرد ، وبذلك نحصل على أكبر قدرة تبريد للزيت .

شكل (١٠-٢) يمثل خزان مياه علوى (ضغط جوى) متصل بمبرد زيت المحول بالمياه ، وهذا لا يحتاج الى مضخة لدوران المياه .

جدول (٤-٢) يوضح حالات التبريد شائعة الاستخدام .



شكل (٥ -٢)



شكل (٦ -٢)

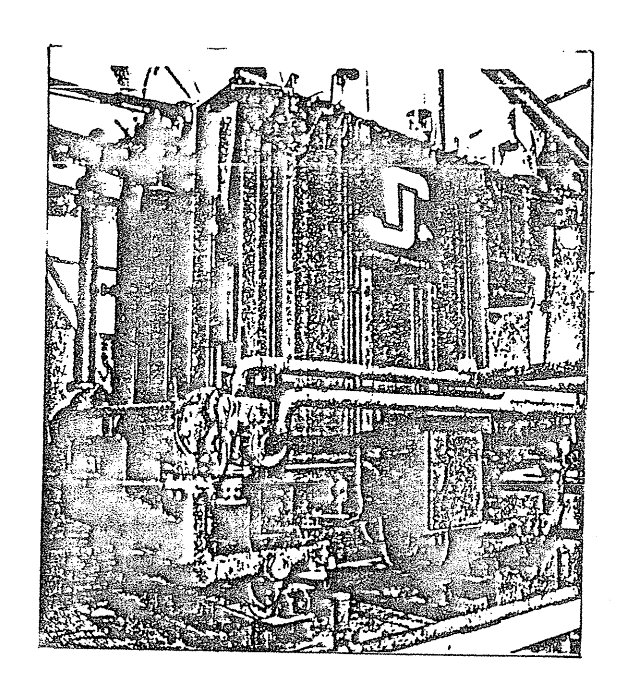
وفيما يلى فكرة مبسطة عن بعض هذه الانواع :

١ - زيت تبريد طبيعى وهواء طبيعى *(ONAN)*

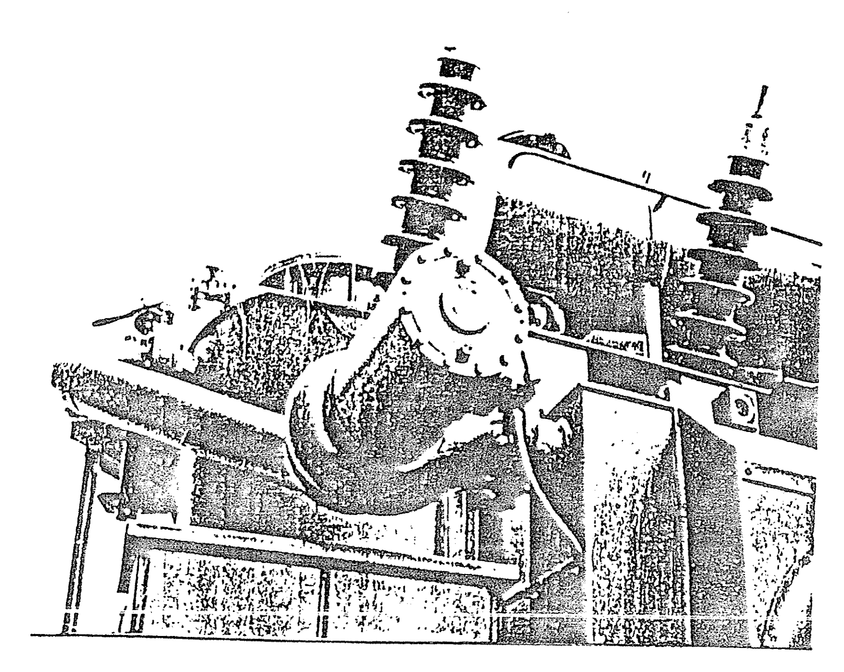
فى هذه الحالة تستخدم المشعات مع الهواء المحيط ، للتبريد بالهواء الطبيعى أى لايوجد مراوح مسلطة على المشعات ، وكذلك وسط التبريد الداخلى ، وهو الزيت ، لايوجه وتكون حركته ناشئة عن التيارات الطبيعية ، فعندما يسخن الزيت يرتفع إلى أعلى المحول ، ثم يدخل الى المشعات فى مجمعها العلوى ، فينزل فى المشعات ملامساً الهواء المحيط بها ، فيبرد وينزل أسفل المحول ، وهكذا ، بمعنى آخر يتم تقليب الزيت عن طريق تيارات الحمل الحرارية الناشئة عن اختلاف درجات الحرارة بين المشعات ، وبين درجتى حرارة الزيت ، أسفل وأعلى الخزان .

شكل (١١-٢) أ يوضح مكان تركيب المشعات على خزان المحول ، ويتم مرور الزيت داخل المشعات عن طريق عدد ٢ صمام عزل ، حيث تكون الصمامات فى وضع فتح أثناء التشغيل . شكل (١١-٢) ب يوضح اتجاه دوران الزيت داخل جسم المحول ، نتيجة اختلاف درجة حرارة الزيت فى قاع المحول (θ_1) ، عند درجة حرارة الزيت داخل المشعات (θ_2)، حيث يعرف اختلاف درجة الحرارة كالآتى .

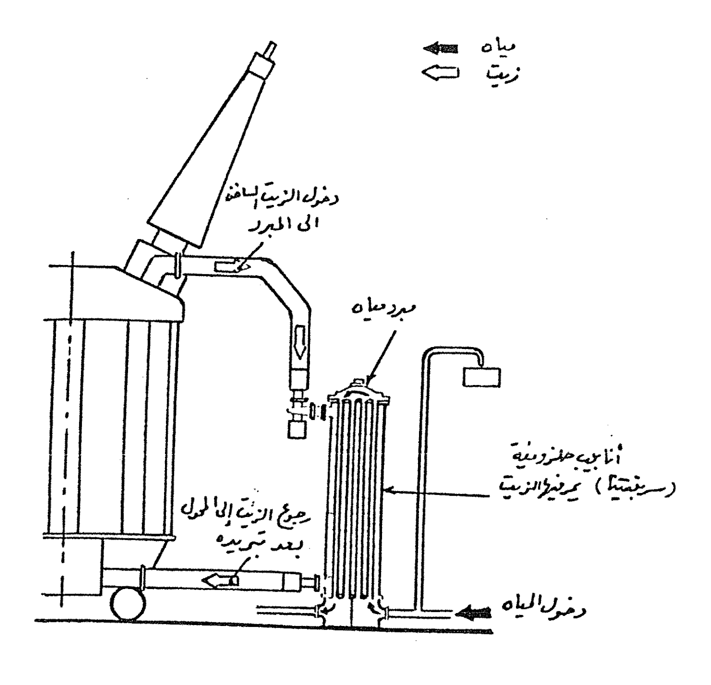
$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$



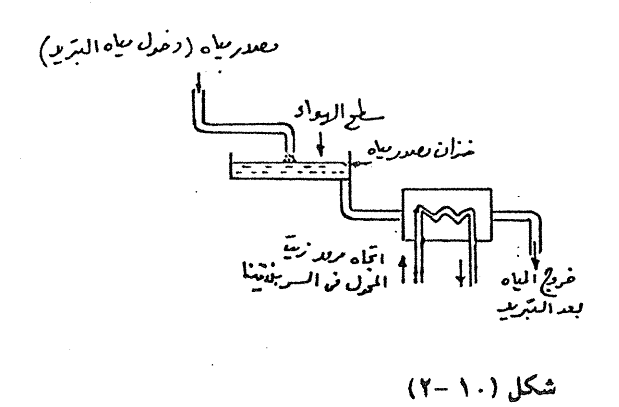
شكل (٨ - ٢)



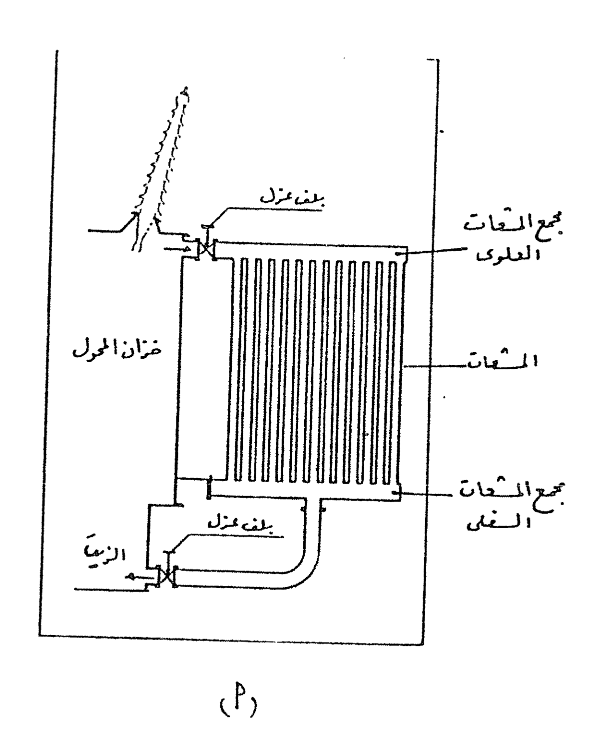
شكل (٧ - ٢)



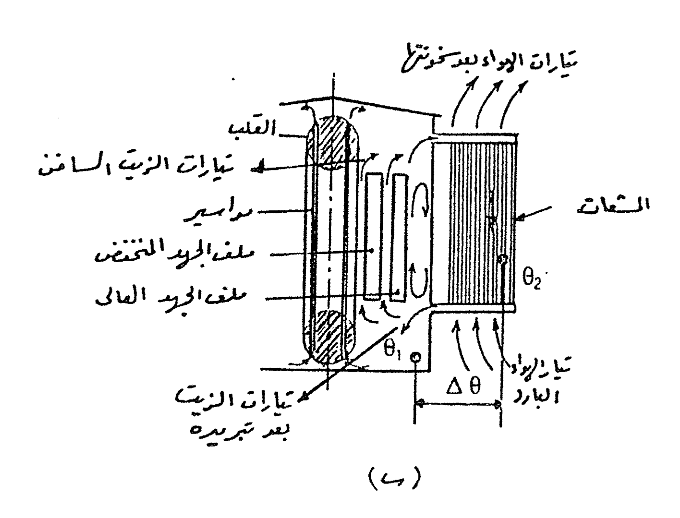
شكل (٩ -٢)



شكل (١٠ -٢)


بلف عزل
مجمع المشعات العلوى
خزان المحول
المشعات
مجمع المشعات السفلى
بلف عزل
الزيت

(أ)


تيارات الهواء بعد تسخينه
القلب
تيارات الزيت الساخن
مواسير
ملف الجهد المنخفض
ملف الجهد العالى
المشعات
θ_2
θ_1
$\Delta\theta$
تيار الهواء البارد
تيارات الزيت بعد تبريده

(ب)

شكل (١١ -٢)

جدول(٤-٢)

حالات التبريد شائعة الاستخدام

الحرف الاول	الحرف الثانى	الحرف الثالث	الحرف الرابع	الرمز الكلى		المعنى
ز (o)	ط (N)	هـ(A)	ط (N)	ز ط هـ ط	ONAN	تبريد زيت طبيعى وهواء طبيعى
ز (o)	ط (N)	هـ (A)	ج (F)	ز ط هـ ج	ONAF	تبريد زيت طبيعى وهواء جبرى
ز (o)	ج (F)	هـ (A)	ج (F)	ز ج هـ ج	OFAF	تبريد زيت وهواء جبرى
ز (o)	م (D)	هـ (A)	ج (F)	ز م هـ ج	ODAF	تبريد زيت موجه وهواء جبرى
ز (o)	ح (F)	ى (W)	ج (F)	ز ج ى ج	OFWF	تبريد زيت جبرى ومياه جبرى
ز (o)	م (D)	ى(W)	ج (F)	ز م ى ج	ODWF	تبريد زيت موجه ومياه جبرى
هـ(A)	ط (N)			هـ ط	AN	للمحولات الجافة / تبريد هواء طبيعى
هـ(A)	ج (F)			هـ ج	AF	للمحولات الجافة / تبريد هواء جبرى

٢ - تبريد زيت طبيعى وهواء جبرى *(ONAF)*

يمكن تثبيت مجموعة مراوح بمحركات على المشعات ، حيث يعتمد عدد المراوح على قدرة المحول ، ويكون دفع الهواء بوساطة المراوح ، وهو ما يعرف بالتبريد بهواء جبرى *(Forced Circulation of Air)*

شكل(١٢-٢) أ يوضح تثبيت المراوح تجاه المشعات .

شكل (١٢-٢) ب يوضح اتجاه الزيت داخل المحول نتيجة التبريد بوسط خارجى ، وهو يدخل تحت نوع الهواء الجبرى ، ففى حالة تشغيل المراوح ، نجد أن درجة حرارة الزيت داخل المشعات اصبحت (θ_3) وهذه منخفضة عن (θ_2)، وهى التى تمثل درجة حرارة الزيت قبل تشغيل المراوح ، اى أن هناك اختلافاً بين درجات حرارة الزيت داخل المحول ، عن المشعات ، حيث تكون فى الاخيرة أكبر أى أن

$$\Delta\theta = (\theta_3 - \theta_1) > (\theta_2 - \theta_1)$$

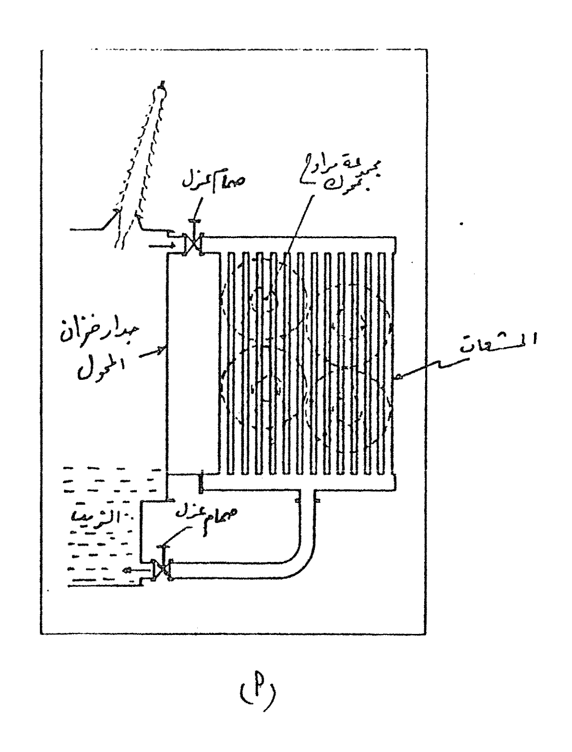
حيث (θ_1) درجة حرارة الزيت داخل المحول بالموضع المحدد بالشكل (١٢-٢) ب بمعنى آخر يزيد معدل دوران الزيت ، وبالتالى يكون للتبريد تأثير وفائدة أكبر. وهذه تمثل حالتان : تبريد زيت طبيعى وهواء طبيعى (تكون المراوح مفصولة) ، وتبريد زيت طبيعى وهواء جبرى (يتم تشغيل المراوح) ويرمز لهذا النوع بالمحولات *(ONAN / ONAF)*. ويجب الالتزام عند تشغيل المحولات بالقدرة المسموحة فى حالة *(ONAN)* وهى غالباً ٦٠ ٪ من القدرة الكلية للمحول ، بينما نحصل على قدرة المحول الكلية فى حالة تشغيل (ONAF)

٣ – تبريد زيت جبرى وهواء جبرى *(OFAF)*

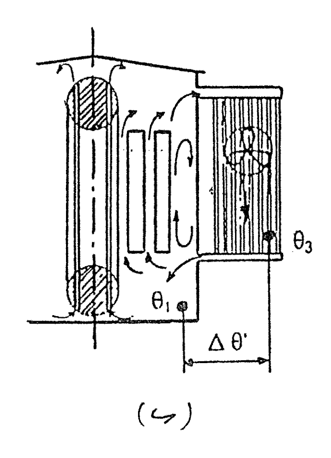
تبريد الزيت داخل المشعات يتسبب فى ارتفاع لزوجة الزيت ، ولذلك قد يلزم اضافة مضخة تدار بمحرك لتقليب الزيت بصفة مستمرة . وفى هذه الحالة تقل مساحة المشعات المستخدمة ، بينما يتم سريان الزيت عادة بين الملفات بظاهرة الحمل . وبالرجوع الى شكلى (١٣-٢) أ ، ب نجد توضيحاً لهذا النوع من التبريد ، حيث تشير الأسهم الى اتجاه سريان الزيت .

٤ – تبريد زيت جبرى موجه وهواء جبرى *(ODAF)*

نستخدم هذه الطريقة للمحولات ذات القدرات العالية جداً . ومبردات الهواء عبارة عن

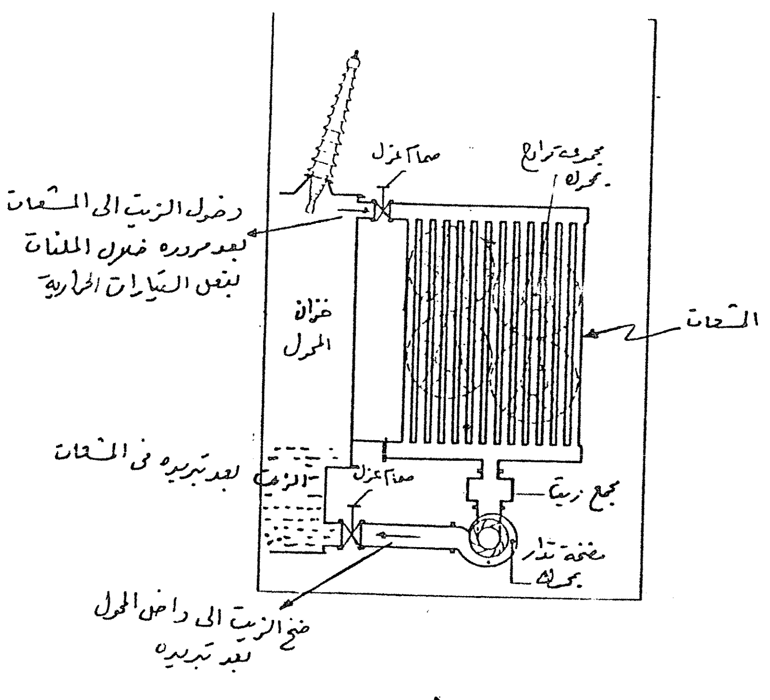

صمام عزل
مجموعة مراوح تحويل
جدار خزان المحول
المشععات
الزيت
صمام عزل

(أ)

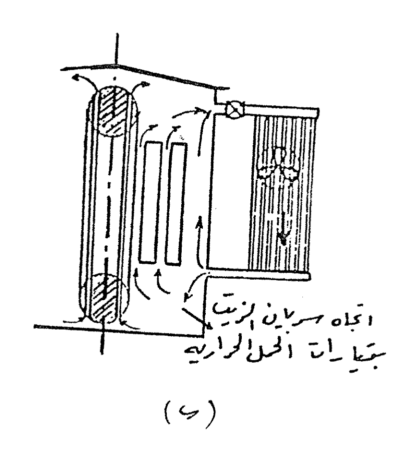

θ_3
θ_1
$\Delta \theta'$

(ب)

شكل (١٢ -٢)


صمام عزل
مجموعة مراوح بمحرك
دخول الزيت الى المشعات
بعد مروره خلال الملفات
بفعل التيارات الحرارية
خزان المحول
المشعات
الزيت بعد تبريده فى المشعات
صمام عزل
مجمع زيت
مضخة تدار بمحرك
ضخ الزيت الى داخل المحول
بعد تبريده

(أ)


اتجاه سريان الزيت
بتيارات الحمل الحرارية

(ب)

شكل (١٣ -٢)

انابيب من الالمونيوم ذات زعانف ، أو مواسير من النحاس مصنعة بشكل خاص . ويستخدم عدد قليل من المراوح سبيباً ، ويصبح دوران الزيت فى هذه الحالة موجه للملفات شكل (١٤-٢) أ يوضح استخدام مضخة تدار بمحرك فى أعلى المبرد ، ويحتوى المبرد على عدد ٣ مراوح بالمحركات . نتيجة توجيه الزيت نحو الملفات ترتفع سرعته الى عشرة امثال السرعة العادية ، الناشئة عن التيارات الحرارية . يلاحظ فى شكل (١٤-٢) ب حاجز داخل الخزان ، بجوار الملفات ، يساعد على توجيه سريان الزيت حول الملفات .

٥ - تبريد زيت موجه ومياه جبرى *(ODWF)*

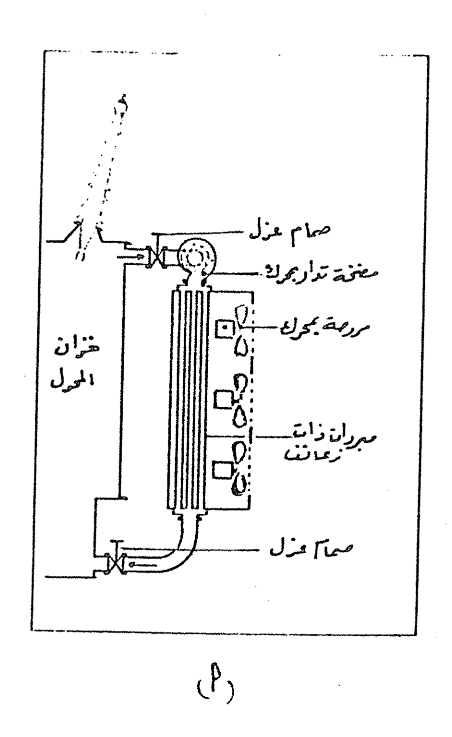
تتكون مبردات المياه من مجموعة من المواسير ، حيث تختار المادة المصنوعة منها المواسير طبقاً لمواصفات المياه (الملح - الرمل ...) ، وتكون المواسير داخل الخزان اسطوانية . يجب أن يكون ضغط الزيت أكبر من ضغط المياه ، حتى اذا حدث تسرب يكون من الزيت الى الماء وليس من الماء الى الزيت . شكلى (١٥-٢) أ ، ب يوضح هذه التفاصيل .

تبريد المحولات الجافة

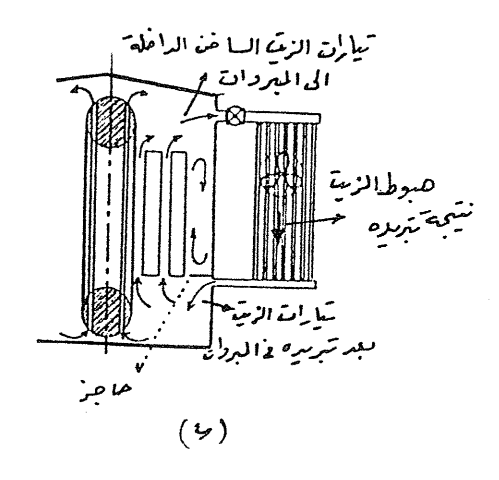
يتم تبريد المحولات الجافة بالهواء ، بالتيارات الطبيعية ، حيث يوضع القلب والملفات فى خلية معدنية مجهزة بحوامل ، وتبريد الملفات يتم بالتبادل الطبيعى للهواء بواسطة اشعاع الحرارة من الأجزاء المختلفة لهيكل المحول .

فى شكل (١٦-٢) محول من النوع الجاف يبرد بالهواء بالطريق الطبيعى ، ويلاحظ وضع الأطراف أسفل المحول ، وتكون درجة حرارتها تقريباً هى نفس درجة الحرارة المحيطة . وبالتالى لا تحتاج الى اطراف نهاية تتحمل درجات الحرارة العالية أو اطراف ذات أحجام كبيرة لضمان الأمان للمحول واستمرارية التشغيل لوقت طويل .

كما يمكن زيادة قدرة المحول الجاف بحوالى ٣٠ ٪ بإضافة مرواح تبريد كما فى شكل (١٧-٢)

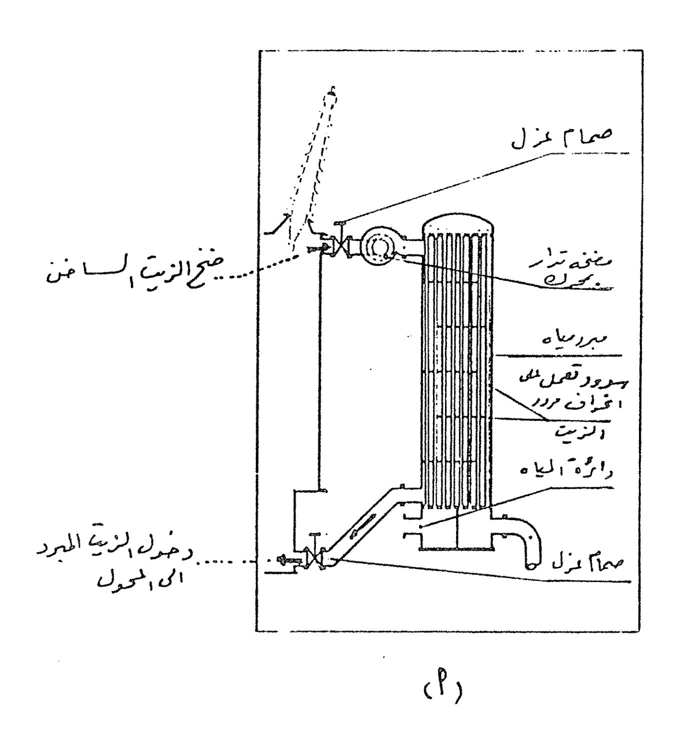

صمام عزل
مضخة تدار بمحرك
مروحة بمحرك
خزان المحول
مبردات ذات زعانف
صمام عزل

(أ)

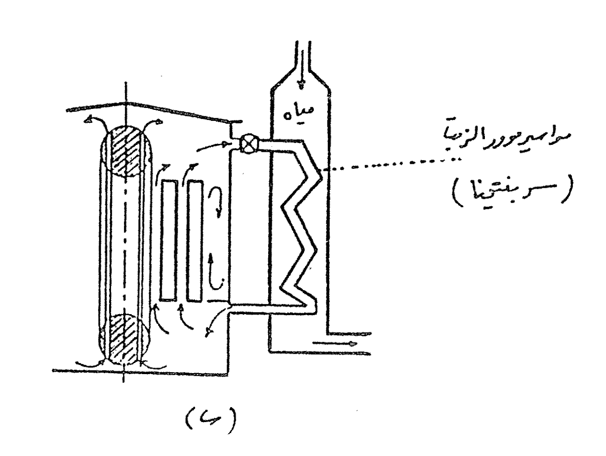

تيارات الزيت الساخن الداخلة الى المبردات
هبوط الزيت نتيجة تبريده
تيارات الزيت بعد تبريده في المبردات
حاجز

(ب)

شكل (١٤ -٢)

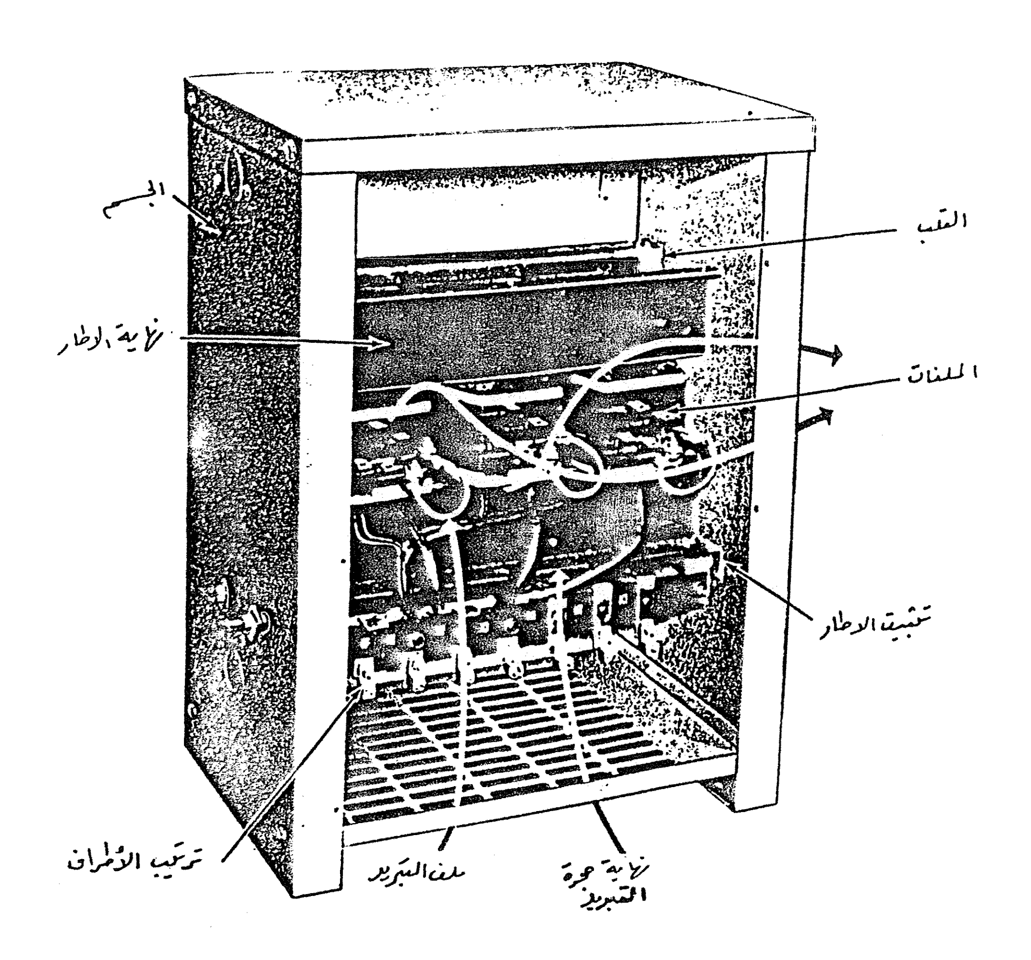

صمام عزل
مضخة تدار بمحرك
مبرد مياه
الزيت
دائرة المياه
صمام عزل
ضخ الزيت الساخن
دخول الزيت المبرد
الى المحول

(أ)

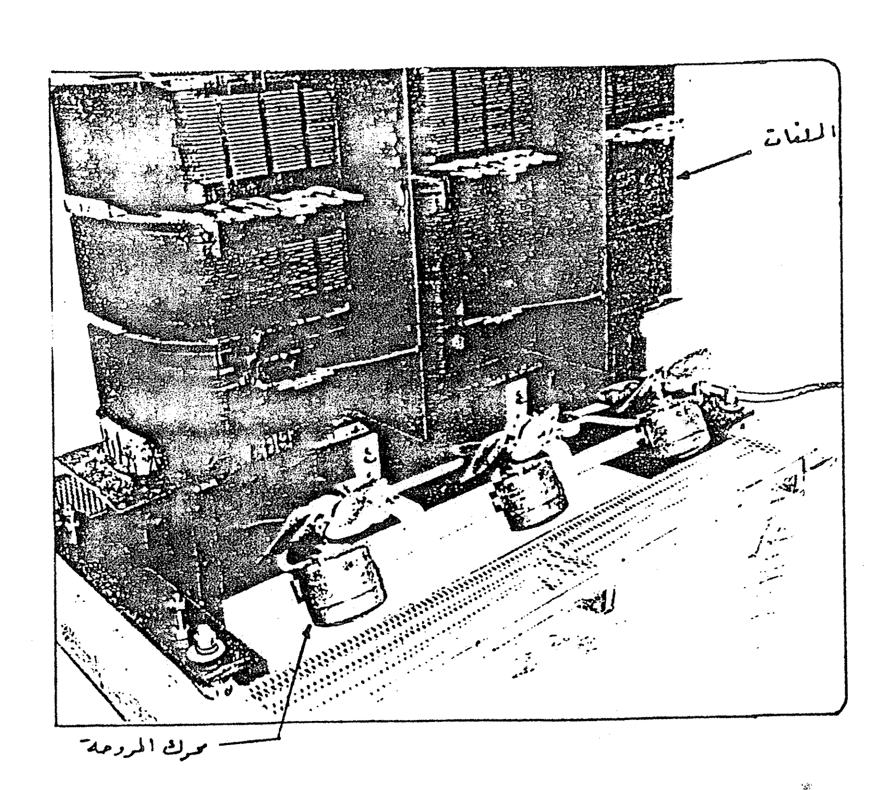

مياه
(سربنتينا)

(ب)

شكل (١٥ -٢)



شكل (١٦ -٢) تبريد محول جاف (انتاج وستنجهاوس)



شكل (١٧ - ٢)

٢ – ٢ تغيير الجهد بتغيير نقط التقسيم

Voltage Variation By Tap-Changing

يتم تنظيم وتغيير الجهد بالمحولات عن طريق تغيير عدد اللفـات ، اما فى الملف الابتدائى ، أو الملف الثانوى أو الاثنين معاً ، اى بتغيير نسبة تحويل الجهد ، وبالتالى الحصول على جهد متغير . ويتم ذلك عن طريق عمل نقط تقسيم *(Tapping Points)* على الملف ، اى تغيير عدد اللفات ، بحيث يعطى التوصيل عند نقط التقسيم المختلفة جهداً مختلفاً .

تكون بعض المحولات مجهزة على أساس أن يتم التغيير على نقط التقسيم فى حالة اللاحمل للمحول *(Off Load Tap Changing)* ، ومعنى هذا ان يتم تغيير نقط التقسيم بعد عزل المحول عن مصدر التغذية الكهربائية ، أشكال (١٨-٢) ، (١٩-٢) ،(٢٠ -٢) ، (٢١-٢) توضح بعض المحولات المجهزة بنقط تقسيم خارج المحول يتم عن طريقها تغيير الجهد للقيمة المطلوبة ، ثم يتم توصيل المحول مرة أخرى بالخدمة .

أو يتم تغيير نقط التقسيم للملف فى حالة الحمل *(On Load Tap Changing)* وفى هذه الحالة يتم تغيير نقط التقسيم بدون فصل مصدر التغذية أى بدون فصل الكهرباء عن المستهلكين .

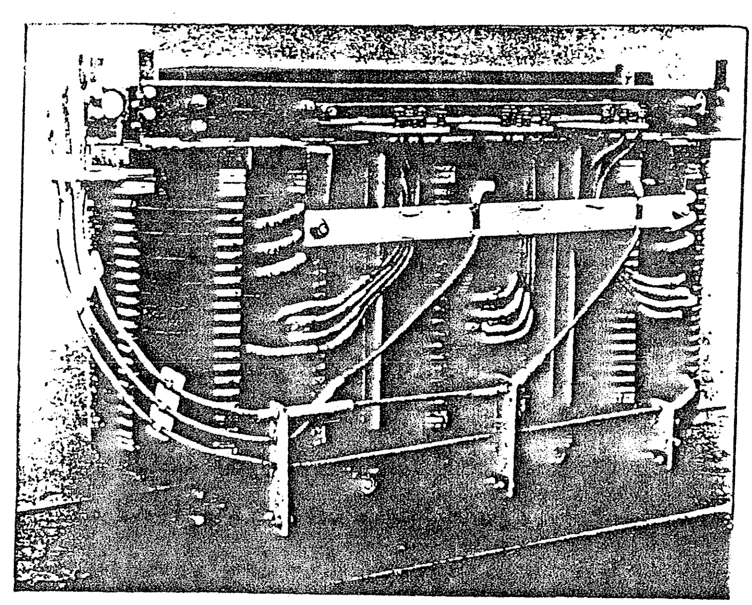
الطريقة المستخدمة بتوسع للتحكم فى تغيير الجهد بتغيير نسبة تحويل محولات القدرة يمكن تمثيلها ببساطة كما فى شكل (٢٢-٢) ، يوجد ثلاثة نقط تقسيم على الملف الابتدائى عند النقاط x_3 , x_2 , x_1 بفرض أن نقطة التقسيم على الوضع x_2 فإن اطراف الملف الابتدائى تكون Ax_2 .

معادلة نسبة التحويل

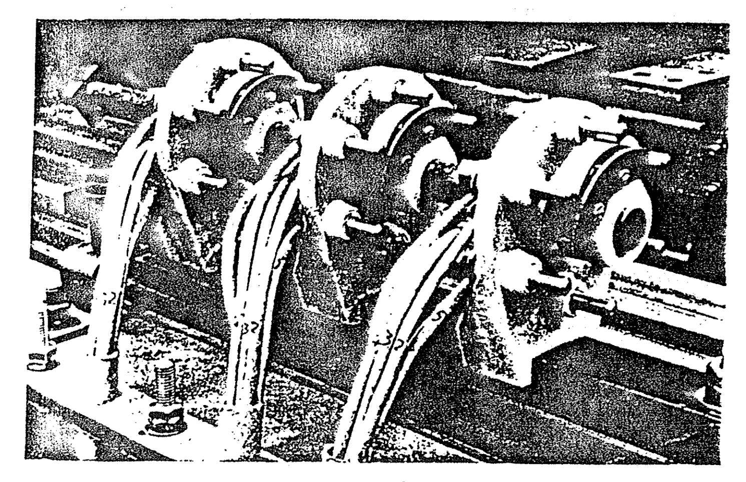
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad \text{.........} \quad (١-٢)$$

$$U_1 = U_2 \frac{N_1}{N_2} \quad \text{.........} \quad (٢-٢)$$

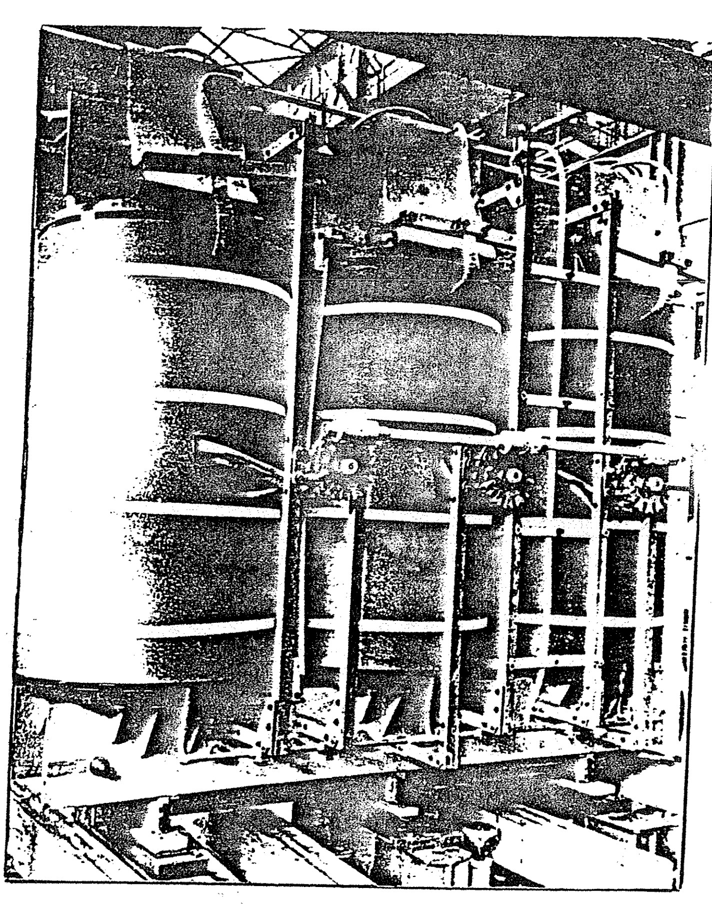
$$U2 = U_1 \frac{N_2}{N_1} \quad \text{.........} \quad (٣-٢)$$



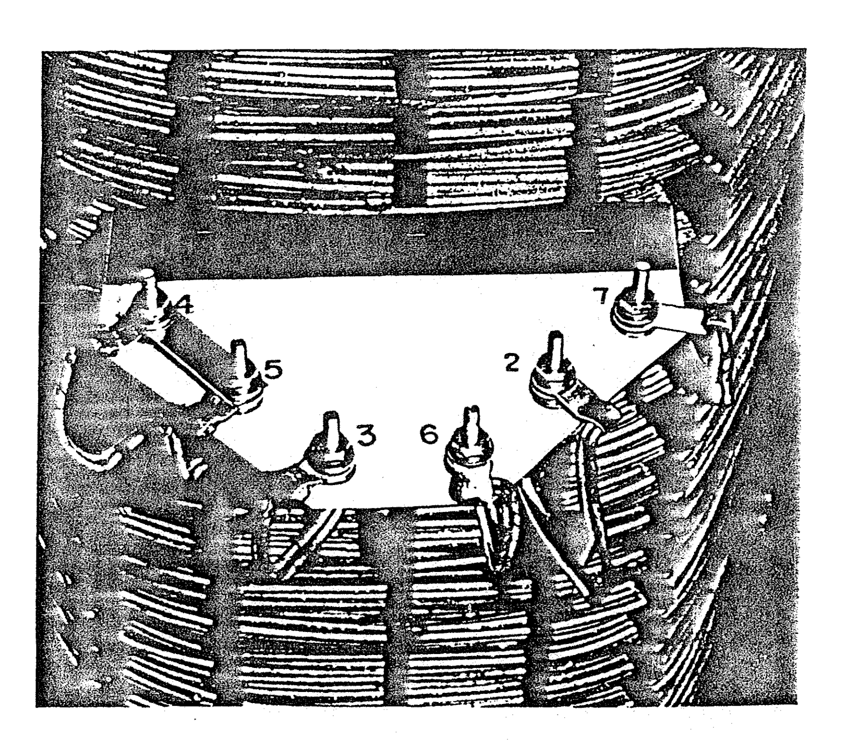
شكل (١٨-٢) محول توزيع ٣٠٠ ك.ف.أ. ثلاثة أوجه - من النوع الجاف - تغيير نقط التقسيم فى حالة اللاحمل



(١٩-٢) مفتاح تغيير نقط التقسيم لمحول ٣٣/١١ك.ف . تغيير فى حالة اللاحمل



شكل (٢٠-٢) محول ٢٠ م.ف.أ. - ١١٠ ك.ف - تغيير
نقط التقسيم فى حالة اللاحمل



شكل(٢١-٢) نقط التقسيم بمحول جاف .

حيث

U_1= الجهد بين طرفى ملف الجهد العالى (A, x_2).

U_2 = الجهد بين طرفى ملف الجهد المنخفض

N_1 = عدد لفات ملف الجهد العالى (A, x_2).

N_2 = عدد لفات ملف الجهد المنخفض .

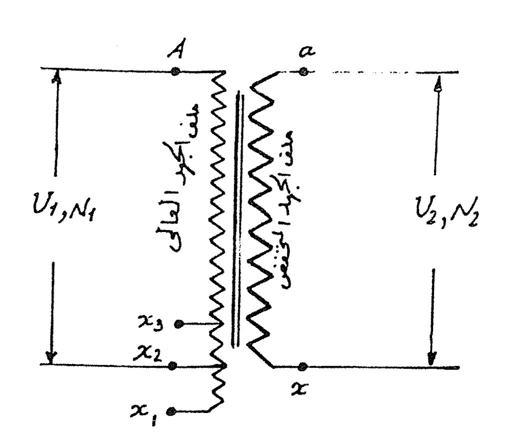
اذا ارتفعت قيمة الجهد المسلط على الملف الابتدائى ، لمحول قدرة خفض ، وكان من الضرورى تثبيت الجهد الخارج على الملف الثانوى ، من المعادلة (٣-٢) يلزم زيادة عدد لفات الملف الابتدائى ، اى تغيير نقطة التقسيم من x_2 إلى x_1 . اذا ارتفع جهد الملف الثانوى فانه يلزم تخفيض جهد الملف الابتدائى أى تخفيض عدد لفات الملف الابتدائى N_1 ، اى تغيير نقطة التقسيم من x_2 إلى x_3 . وبذلك تتم المحافظة على تثبيت الجهد على الملف الثانوى .

فى حالة تغيير الجهد بتغيير نقط التقسيم والمحول مفصول *(Off Load)* يكون الملف الابتدائى مجهزاً بنقطتى تقسيم أو أربع نقاط تقسيم ، ويتم التغيير يدوياً عن طريق ذراع مخصص لذلك على جسم المحول . فى حالة محول مجهز بنقطتى تقسيم ، يكون التغيير فى نسبة التحويل + ٥ ٪ ، - ٥ ٪ .

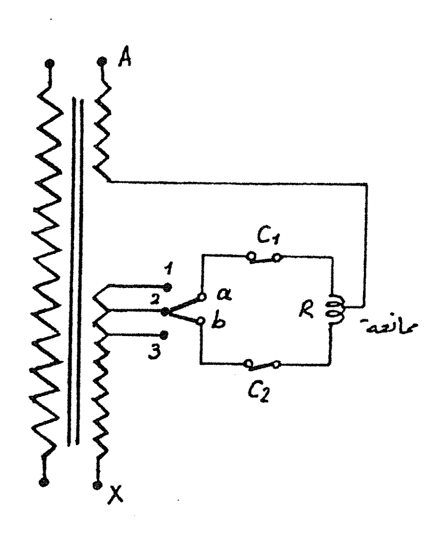
إذا كـان المحول مجهـزاً بأربـع نقاط تقسيم يكون التغييـر فى نسبة التحويل + ٥ ٪ ، + ٢,٥ ٪ ، - ٢,٥ ٪ ، - ٥ ٪ .

للمحولات المجهزة بنقط تقسيم فى حالة الحمل *(On Load)* فان التغيير من نقطة تقسيـم إلى أخـرى (أو من خطوة إلى خطوة تالية) لا يحتاج الى فصل الكهرباء عن المحول .

شكل (٢٣-٢) يوضح الفكرة ببساطة لأحد أوجه المحول . تتكون الدائرة من نقط تلامس متحركة a,b ، نقط تلامس c_1,c_2 ، ممانعة R ، نقطة المنتصف للمانعة متصلة بنصف الملف الابتدائى للمحول . وضع التشغيل العادى عند نقط التلامس رقم ٢ حيث تكون نقطتا التلامس a,b ، ثابتتين ، ونقطتا التلامس c_1 , c_2 مغلقة ، يمر تيار التحميل فى كلا من a,b ، c_1 , c_2 نصفى المانعة R . لتغيير نقطة التقسيم من ٢ الى ٣ ، يفتح c_2 يتم تغيير



شكل (٢٢-٢) وجه واحد لمحول ثلاثى الاوجه يحتوى على نقط تقسيم



شكل (٢٣-٢) نقط تقسيم لمحول (يتم التغيير مع وجود الحمل)

وضع b من نقطة التقسيم ٢ الى نقطة التقسيم ٣ . ثم يغلق c_2 وبذلك يحدث قصر دائرة لجزء الملف بين نقطتى التقسيم ٢ -٣ من خلال المانعة R فرق الجهد بين نقط التقسيم ٢ ، ٣ تعمل على انشاء تيار دائرى بالاضافة الى تيار التحميل . الا أن وجود المانعة R تعمل على أن يكون التيار المار ذا مستوى مناسب منخفض .

بعد غلق c_2،c_1 يفتح حيث يتم تغيير a من نقطة التقسيم ٢ إلى ٣ ثم يغلق c_1 وبذلك يحدث التغيير الكامل لنقط التقسيم من ٢ إلى ٣ .

يتم تغيير اوضاع نقط التقسيم على المحول بنظام ميكانيكى يعمل بمحرك كهربى ذى تيار مستمر أو تيار متغير ، تتم حركة تغيير أوضاع نقط التقسيم للاوجه الثلاثة لحظياً فى نفس الوقت بواسطة دوائر تحكم عن بعد أو محلياً على جسم المحول ، وذلك عن طريق أجهزة تحكم ، وبأستخدام دوائر الجهد يمكن رفع أو خفض الخطوة يدوياً . يكون سعر المحول فى هذه الحالة مرتفعاً .

اولاً : تغيير نقط التقسيم لمحول فى حالة اللاحمل

Off Load Tap Changing

شكل (٢٤-٢) يوضح طرق مختلفة لتقسيم الملف الابتدائى للحصول على نقط تقسيم مختلفة كل تقسيم يعنى عدد معين من اللفات المتصلة على التوالى .لمحولات توزيع حتى ٦٣٠ ك.ف. أ يحتوى الملف الابتدائى على ثلاث خطوات . الخطوة الوسطى x_2 مقابل قيمة الجهد المقنن للمحول أى ٦,٣ ك.ف الخطوتين x_3 , x_1 تقابل ± ٥ ٪ من قيمة الجهد المقنن للمحول أى ٦,٣ ك .ف الخطوتين x_3 , x_1 ، مقابل ± ٥ ٪ من قيمة الجهد المقنن وتمثيل هذا المحول بشكل (٢٤-٢) أ

بفرض أن عدد لفات الملف الابتدائى ١٠٠٠ لفة فان قيمة ٥ ٪ من عدد اللفات تساوى ٥٠ لفة أى أن تغيير الخطوة يضيف أو يطرح عدد ٥٠ لفة للخطوة الوسطى للملف . كذلك فان تغيير الخطوة يقابل ٣١٥ ڤولت اذا كان جهد الخطوة الوسطى ٦٣٠٠ ڤولت (الجهد المقنن) أى أن الجهد يتغير من ٥٩٨٥ ڤولت إلى ٦٦١٥ ڤولت .

لقدرات أعلى يستخدم عدد من الخطوات اكبر كما فى شكل (٢٤-٢) ب حيث تم استخدام عدد ٥ خطوات .

يمكن ان تكون نقط التقسيم فى احد طرفى الملف كما فى شكل (٢٤-٢) أ ، ب أو تكون نقط التقسيم فى منتصف الملف كما فى شكل (٢٤-٢) جـ ، ء كذلك يمكن أن يستخدم تقسيم معكوس كما فى شكل (٢٤-٢) هـ .

وعلى ذلك ففى حالة محولات توزيع من ١٠٠ إلى ١٠٠٠ ك.ف.أ يحتوى المحول عادة على ثلاث خطوات : ٥ ٪ أعلى من قيمة الجهد المقنن ، ٥ ٪ اقل من قيمة الجهد المقنن كما فى اشكال (٢٤-٢) أ، جـ ، هـ .

وفى حالة محولات توزيع من ١٦٠٠ الى ٦٣٠٠ ك. ف. أ. يكون هناك عادة خمس خطوات : ٥ ٪ أعلى ٢,٥ ٪ أعلى ، عادى ، ٢,٥ ٪ اقل ، ٥ ٪ اقل من قيمة الجهد المقنن ، كما فى شكل (٢٤-٢) ب ، ء .

يتم تغيير الخطوة بواسطة مقبض تشغيل يوجد أعلى جسم المحول ، أما مفاتيح تغيير الخطوة (نقط التقسيم) فتوجد داخل جسم المحول .

شكل (٢٥-٢) يوضح مجموعة توصيلات مفاتيح تغيير خطوة المحول .

شكل (٢٥-٢) أ أول مجموعة فى الشكل تمثل مفتاح تغيير الخطوة على ملف المحول الممثل بشكل (٢٤-٢) جـ .

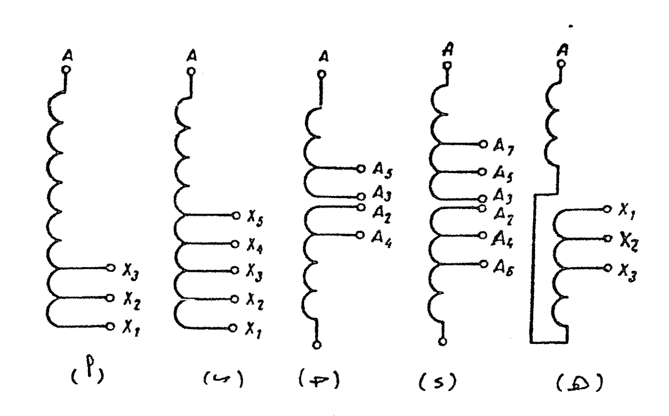
شكل (٢٥-٢) ب تمثل مفتاح تغيير الخطوة لنقط التقسيم أما فى طرف الملف أو وسطه كما فى شكل (٢٤-٢) أ ، ب .

لنقط التقسيم للملف فى شكل (٢٤-٢) هـ يمثل مفتاح تغيير الخطوة بشكل (٢٥-٢) ب أيضاً .

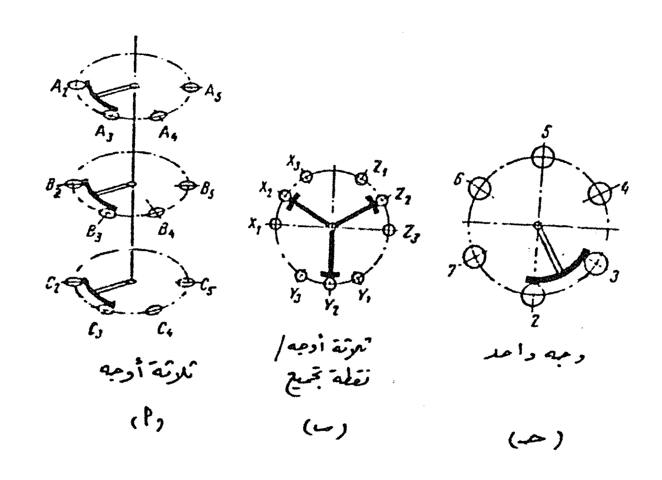
شكل (٢٥-٢) جـ يمثل مفتاح تغيير خطوة لوجه واحد للحالة بشكل (٢٤-٢) د .

فيما يلى بعض انواع مفاتيح تغيير الخطوة (نقط التقسيم) فى حالة اللاحمل :

شكل (٢٦-٢) مفتاح تغيير خطوة ثلاثة اوجه يستخدم لمحولات توزيع حتى ١٠٠٠ ك. ف . أ للجهود حتى ٣٥ ك. ف. وهو تمثيل لشكل (٢٥-٢) ب يتم تثبيت مفتاح تغيير الخطوة اعلى جسم المحول . عند تحريك الخطوة يتحرك قبقاب نقطة التلامس المتحرك مسافة ٣ أو ٤ مم محورياً ، أى يتم تغيير نقط التقسيم مثلاً من x_2 إلى x_3 ، z_2 إلى z_3 ، y_2



شكل (٢٤-٢)



شكل (٢٥-٢)

إلى y_3 أى يتم التغيير من الخطوة رقم ٢ الى الخطوة رقم ٣

بمعنى آخر يتم تحريك المقبض المتصل بعمود الحركة مسافة ٣٠° للحصول على الخطوة اللازمة .

شكل (٢٧-٢) يمثل مفتاح تغيير خطوة - ثلاثة أوجه ـ يستخدم لمحولات توزيع من ١٠٠ الى ١٠٠٠ ك. ف. أ. للجهود حتى ١٠ ك. ف. ، التيار المقنن للمفتاح ١٢٠ أمبير يحتوى المفتاح على عدد ٩ نقط تلامس ثابته كما فى مسقط الشكل (٢٧-٢) ب . يتم تغيير الخطوة بمقبض التشغيل بزاوية ١٢٠° شكل (٢٨-٢) يمثل مفتاح ذو تلامس اسطوانى *(Drum Type)* يستخدم مع النظام الموجود بشكل (٢٩-٢) والممثل بشكل (٢٥-٢) جـ .

شكل (٣٠-٢) أ يمثل مغير جهد يحتوى على عدد ٥ خطوات ، يتم تغيير الخطوة عن طريق مقبض يدور فى اتجاه عقارب الساعة .

شكل (٣٠-٢) ب يمثل مغير جهد ، لمحول توزيع ، يتكون من مقبض ، نهايات الخطوات (المقابلة لنقط التقسيم) وقضيب يتم عن طريقه التلامس بين نقط التقسيم المقابلة للخطوة .

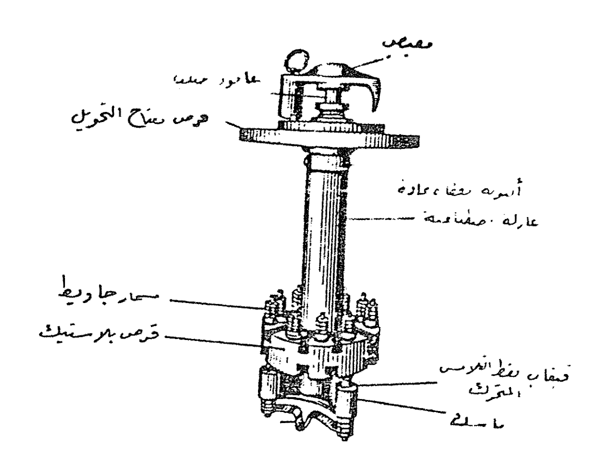
ثانياً : نقط التقسيم فى حالة الحمل *On Load Tap Changing*

يوجد فكرتين اساسيتين لجميع انواع المحولات المجهزة بنقط تقسيم فى حالة الحمل هما :

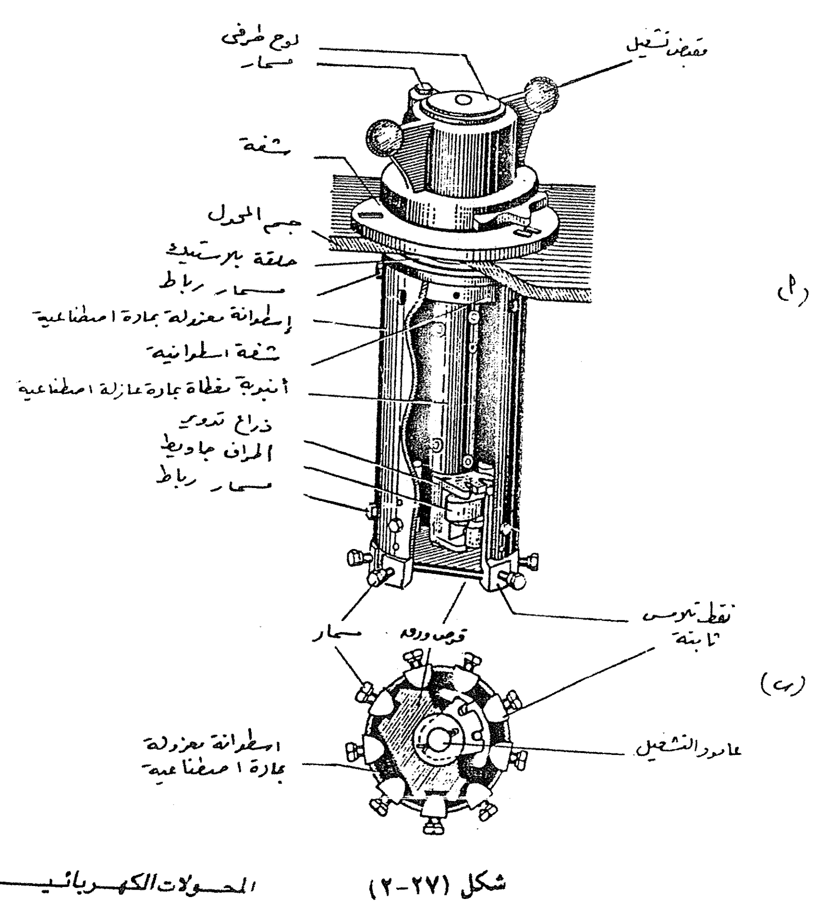
١ - يتم اضافة مقاومة أو ممانعة للدائرة للتغلب على التيار الكبير الذى يمر أثناء عملية تغيير نقط التقسيم .

٢ - عمل مسارين متوازيين ليمر التيار بأحدهما أثناء تغيير نقط التقسيم على المسار الآخر .

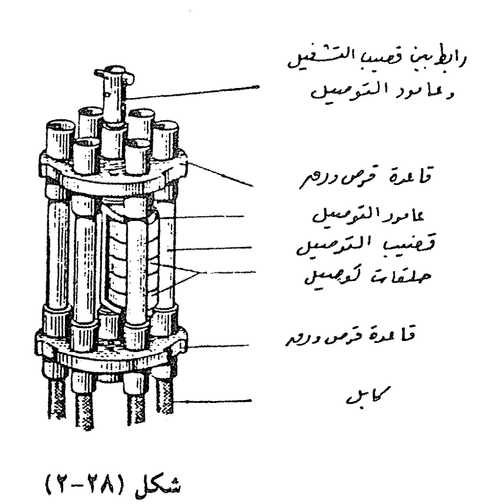
ولكل نوع مميزاته ، فمن مميزات طريقة استخدام المقاومة أثناء التغيير أن عمر نقط التلامس يصبح اطول نتيجة قصر وقت بقاء القوس الذى يكون معامل قدرته الوحدة ، على الرغم من أن طريقة التغيير باستخدام ممانعة هى الاكثر شيوعاً ، حيث يكون عمر نقط التلامس أقل ، كذلك فإن المحولات المجهزة بالممانعة تكون مصممة على أساس مقنن مستمر *(Continuously Rating)* ، بينما المحول المجهز بمقاومة يكون مصمم، على أساس مقنن



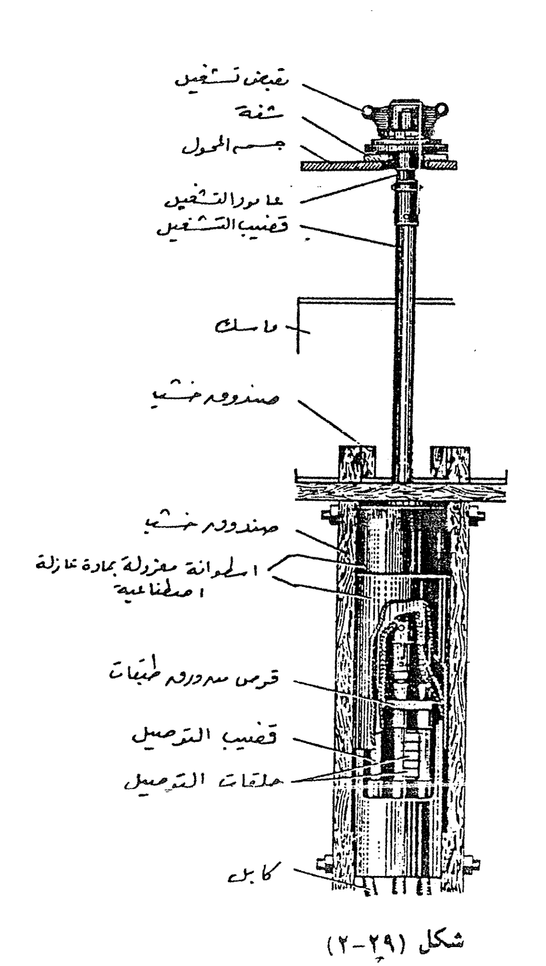
شكل (٢٦-٢)



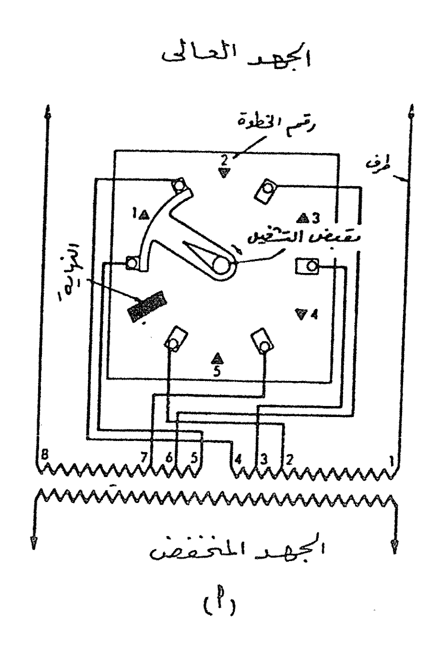
شكل (٢٧-٢)

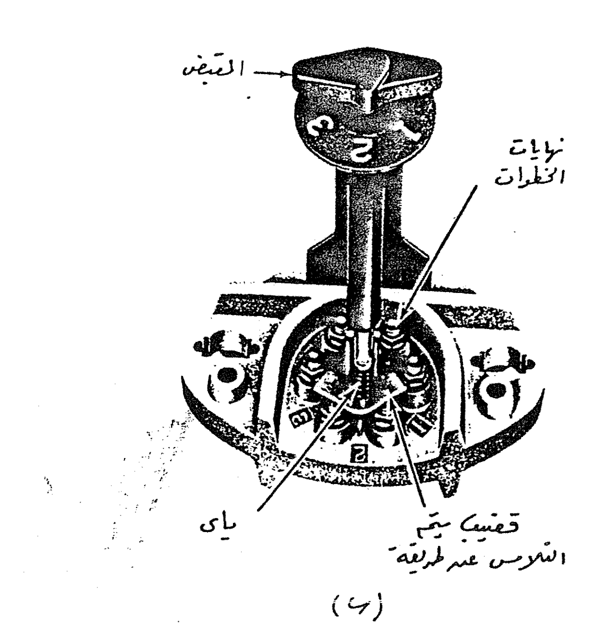


شكل (٢٨-٢)



شكل (٢٩-٢)


الجهد العالى
رقم الخطوة
طرف
مقبض التشغيل
الخزانة
الجهد المنخفض
(أ)


المقبض
نهايات
الخطوات
ياى
قضيب يتم
التلامس عن طريقه
(ب)

شكل (٣٠-٢)

بزمن محدد نتيجة كبر الفقد فى الطاقة

الفكرة العامة أن يتم عمل تقسيم للملف من خلال مفاتيح بعدد معين ، ويتم فتح أو قفل هذه المفاتيح بطريقة معينة وتتابع معين ، بحيث نحصل على ما يسمى بالخطوات (position) ودائماً ما يحتوى المحول على جدول يوضح عدد الخطوات ويقابل كل خطوة وضع المفاتيح المستخدمة للحصول على هذه الخطوة ، كذلك يتم توضيح الجهد المقابل لهذه الخطوة .

وفيما يلى أمثلة لبعض الطرق المستخدمة لتغيير نقط التقسيم فى حالة الحمل

١ – تغيير نقط التقسيم عن طريق تغيير ممانعة

On Load Tap Changing By Reactor Transition

يكون أبسط انواع التغيير عن طريق تغيير ممانعة ، وهى الطريقة المستخدمة بالشكل (٣١-٢) حيث يوضح الشكل ملف ابتدائى لأحد أوجه محول يحتوى على مغير جهد ذو عدد ٩ خطوات يتم الحصول عليها عن طريق مجموعة من المفاتيح ، موصلة عند نقط تقسيم مختلفة على الملف ، حيث يقابل كل خطوة عدد من المفاتيح تكون فى وضع توصيل .

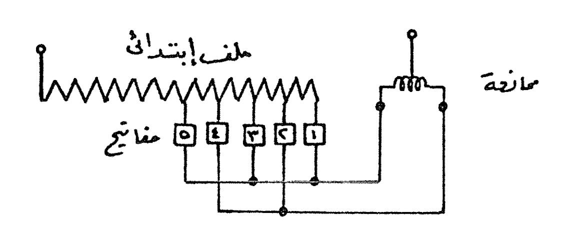
يتـم توصيل المفاتيح فـى مجموعتيـن متصلين بممانعـة تحتـوى علـى طرف بنصفهـا ، الملفات فى هذه الحالة تكون ذات مقتن مستمر . الجدول المرفق يوضح اى المفاتيح تكون فى حالة توصيل عند كل خطوة من خطوات المحول . فمثلاً عند الخطوة رقم ١ ، يكـون المفتاح رقم ١ مقفـل وتكمل الدائرة الكهربائيـة مـن خـلال نصف الممانعـة فقط ، لتغيير وضع المحول من الخطوة رقم ١ الى الخطوة رقم ٢ يتم توصيل المفتاحـين ارقام ١ ، ٢ وتكون الممانعة متصلة توازى مع جزء الملف بين المفتاحين ١ ، ٢ وهذا هو وضع المنتصف للجهد . الخطوة الثالثة يكون المفتاح رقم ٢ فقط مقفل اى أن الدائرة تكمل من خلال النصف الثانى للمانعة ، وهكذا ..

هذا النوع من المحولات يجب أن يكون حجمه كبير لأحتوائه على عدد من المفاتيح ذات سعة تيار قطع ، وبالتالى يلزم كمية كبيرة من الزيت .

٢ – تغيير نقط التقسيم عن طريق ممانعة ومفاتيح تحويل

On Load Reactor Type Using Diverter Switches

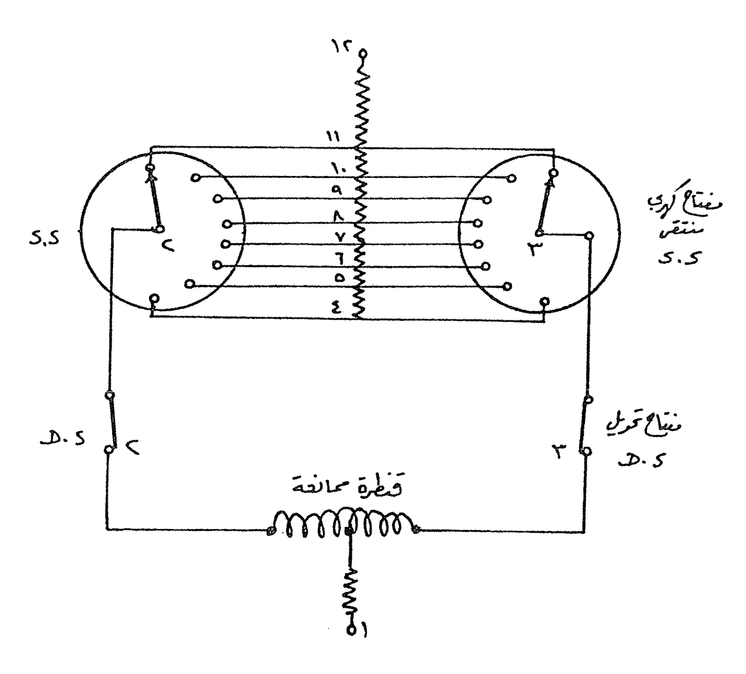
وقد أجرى تعديل للطريقة السابقة باضافة مفاتيح تحويل كما فى شكل (٣٢-٢) ، يحتوى



الخطوة	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩
مفتاح ١	●	●							
٢		●	●	●					
٣				●	●	●			
٤						●	●	●	
٥								●	●

● تشير إلى أن المفتاح في حالة توصيل

شكل (٣١-٢) تغيير نقط التقسيم عن طريق تغيير ممانعه



الخطوة	التوصيلات مفتاح شمال	 مفتاح يمين
١	٢ - ١١	٣ - ١١
٢	٢ - ١٠	٣ - ١١
٣	٢ - ١٠	٣ - ١٠
٤	٢ - ٩	٣ - ١٠
٥	٢ - ٩	٣ - ٩
٦	٢ - ٨	٣ - ٩
٧	٢ - ٨	٣ - ٨
٨	٢ - ٧	٣ - ٨
٩	٢ - ٧	٣ - ٧
١٠	٢ - ٦	٣ - ٧
١١	٢ - ٦	٣ - ٦
١٢	٢ - ٥	٣ - ٦
١٣	٢ - ٥	٣ - ٥
١٤	٢ - ٤	٣ - ٥
١٥	٢ - ٤	٣ - ٤

شكل (٣٢-٢) تغيير نقط التقسيم عن طريق ممانعة ومفاتيح تحويل

المحول فى هذه الحالة على عدد ١٥ خطوة ، يمكن الحصول عليها بأستخدام عدد ٢ مفتاح كهربى منتقى (Selector Switch) وعدد ٢ مفتاح تحويل (Diverter Switch) يوجد ترابط ميكانيكى (Mechanical Interlock) بين مفتاح التحويـل ومفتاح كهربى منتقى ، الجدول المرفق يوضح وضع المفاتيح المقابل لكل خطوة من خطوات المحول .

لتغيير خطوة المحول من الخطوة رقم ١ إلى رقم ٢ يفتح *D.S* رقم ٢ ، يحرك *S.S* رقم ٢ من نقطة التقسيم ١١ الى نقطة التقسيم ١٠ ثم يقفل *D.S* رقم ٢ .

لتغيير خطوة المحول من الخطوة رقم ٢ إلى الخطوة رقم ٣ نبدأ بنفس النظام باستخدام *D.S* رقم ٣ مكان *D.S* رقم ٢ وتتبع نفس وضع المفاتيح بالجدول المرفق .

٣ – تغيير نقط التقسيم عن طريق ممانعة ومفاتيح تفريغ

On Load Reactor Type Tap Changer With Vacuum Switch

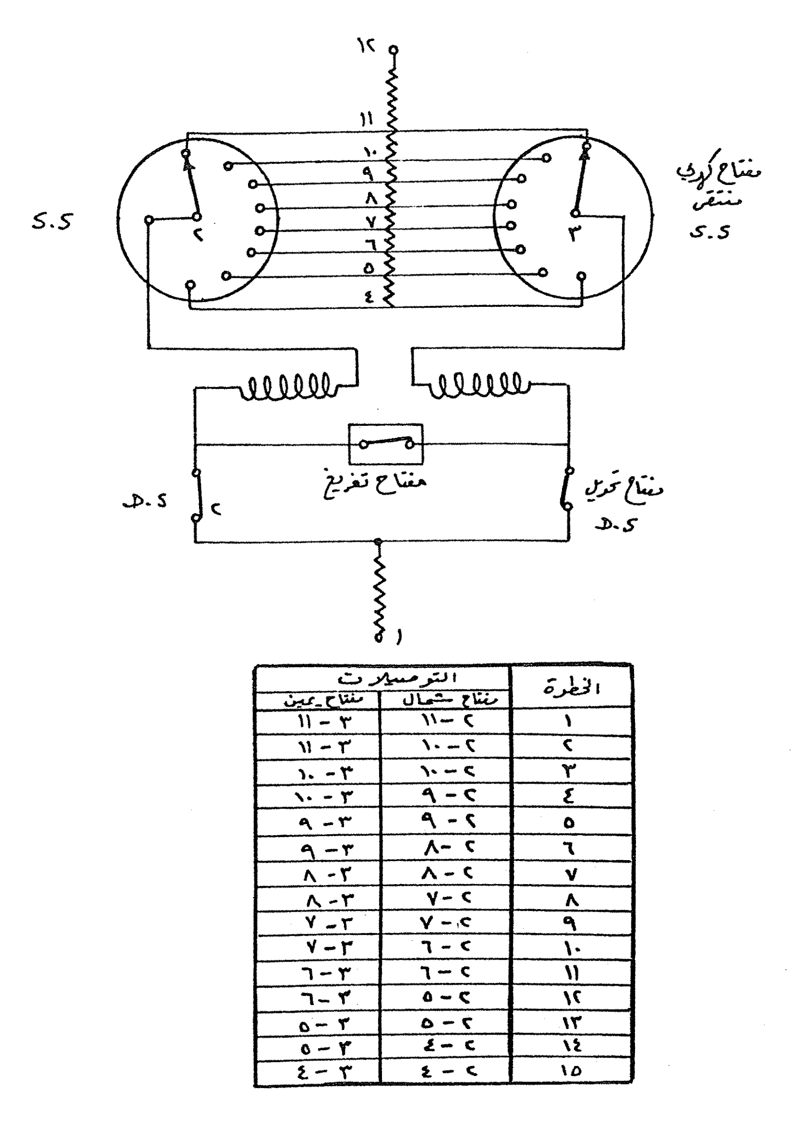
فى بعض الحالات يكون من المستحب استخدام قاطع تفريغ مع الممانعة المستخدمة لتغيير نقط التقسيم . يوضح هذا النوع فى الشكل رقم (٣٣-٢) المحول فى هذه الحالة يحتوى على عدد ١٥ خطوة . يمثل الشكل وضع الخطوة رقم ١ وفيه جميع المفاتيح مغلقة .

لتغيير خطوة المحول من الخطوة رقم ١ الى رقم ٢ ، يفتح *D.S* رقم ٢ بدون حدوث قوس كهربى ، تيار التحميل يمر خلال *S.S* رقم ٢ ، مفتاح التفريغ رقم ٤ ، توازى مع مفتاح *S.S* رقم ٣ ، من خلال مفتاح رقم ٣ ، يفتح مفتاح التفريغ رقم ٤ ، *S.S* رقم ٢ ، يتحرك من وضع ١١ الى وضع ١٠ ، يغلق مفتاح التفريغ رقم ٤ ، يغلق *D.S* رقم ٢ ، يصبح المحول على الخطوة رقم ٢ لتغيير خطوة المحول من الخطوة رقم ٢ الى خطوة رقم ٣ يستخدم *S.S* ، رقم ٣ ، *D.S* رقم ٣ ومفتاح التفريغ رقم ٤ ، بنفس الطريقة التى اتبعت لتغيير الخطوة من رقم ١ إلى رقم ٢ – ونتبع نفس وضع المفاتيح بالجدول المرفق . من مشاكل استخدام قاطع التفريغ حدوث فقد فى المفرغ *Loss of Vacuum* ولذلك يجب وضع الحماية الكافية للكشف عن هذه المشكلة وتجنبها .

٤ – تغيير نقط التقسيم عن طريق مقاومة تحويل

Diverter Resistor Tap Changers

من مشاكل تغيير نقط التقسيم للمحولات فى حالة الحمل ، حدوث قوس كهربى خلال



الخطوة	التوصيلات	
	مفتاح شمال	مفتاح يمين
١	٢ - ١١	٣ - ١١
٢	٢ - ١٠	٣ - ١١
٣	٢ - ١٠	٣ - ١٠
٤	٢ - ٩	٣ - ١٠
٥	٢ - ٩	٣ - ٩
٦	٢ - ٨	٣ - ٩
٧	٢ - ٨	٣ - ٨
٨	٢ - ٧	٣ - ٨
٩	٢ - ٧	٣ - ٧
١٠	٢ - ٦	٣ - ٧
١١	٢ - ٦	٣ - ٦
١٢	٢ - ٥	٣ - ٦
١٣	٢ - ٥	٣ - ٥
١٤	٢ - ٤	٣ - ٥
١٥	٢ - ٤	٣ - ٤

شكل (٣٣-٢) تغيير نقط التقسيم عن طريق ممانعة ومفتاح مفرغ

مفتاح تغيير (*Diverter Switch*) يؤدى الى تلوث زيت المحول نتيجة تكرار عمليات تغيير خطوة المحول . لحل هذه المشكلة تم وضع مفتاح التغيير بحجرة منفصلة ـ مملوءة بالزيت ـ وغير متصلة بخزان الزيت الرئيسى للمحول .

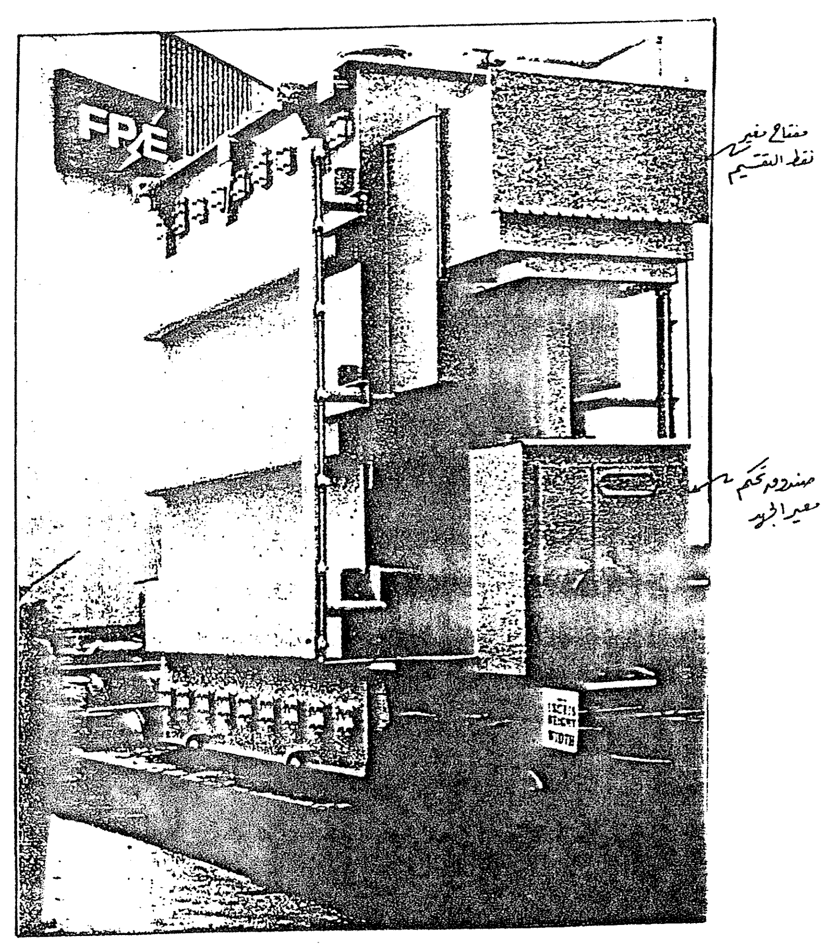
على الرغم من أن عمر نقط التلامس ، لمغير الجهد سريع الاداء الذى يستخدم مقاومات ، يعتبر أطول من مثيلاتها فى حالة استخدام ممانعة ، فان استخدام مفتاح التفريغ (*Vacuum Switch*) ينطوى على شىء من الخطورة ، ولذلك فقد تم التوصل الى عدة تصميمات يكون الغرض منها حذف مفتاح التفريغ من دوائر مغيرات الجهد .

فى الولايات المتحدة الامريكية تم تغيير الجهد عن طريق نقط تقسيم على الملف الثانوى للمحول ، طبقاً للمواصفات القياسية *ANSI C57 12.30 . 1972* بأستخدام ٣٢ × $\frac{٥}{٨}$ ٪ خطوة . وتعتبر هذه الطريقة اكثر اقتصاداً من استخدام ممانعة وقنطرة تغيير اوضاع نقط التقسيم (تستخدم ممانعة ثغرية ذات قلب حديدى ، نقط تقسيم فى وسط الملف ، الجهد بين طرفى الممانعة يساوى الجهد بين خطوتين ، ويكون تيار المغنطة عند هذا الجهد مساوياً من ٤٠ ٪ إلى ٥٠ ٪ من قيمة أقصى تيار) .

شكل (٢-٣٤) يوضح محول قدرة مجهزاً بنقط تقسيم باستخدام ممانعة.اصبح استخدام مقاومات ذات سرعة عالية لتغيير نقط التقسيم بالمحولات ينتشر أنتشاراً كبيراً ، حيث أنه أبسط وارخص من استخدام ممانعة . فى هذه الحالة يحتوى المحول على حجرتين ، احداهما تحتوى على مفتاح كهربى منتقى (*Selector Switch*) ، التى تعمل بدون قطع التيار ، والاخرى تحتوى على المقاومات ومفاتيح التغيير (*Diverter Switch, Resistors*)، وهذا الجزء يجب ان يكون مملوءاً بزيت عزل ، كما يكون معزولاً عزلاً تاماً عن خزان الزيت الرئيسى للمحول منعاً لحدوث تلوث فى زيت المحول نتيجة نشوء القوس الكهربى أثناء عمليات تغيير الخطوة .

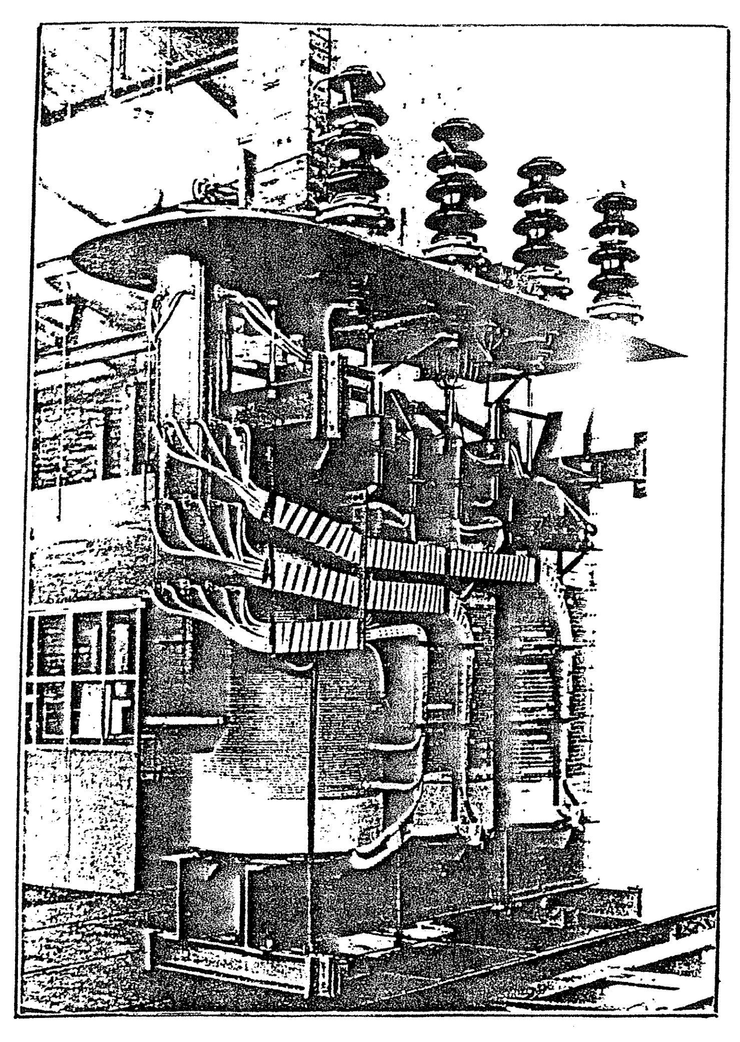
شكل (٢-٣٥) يوضح محول قدرة بدون الجسم الخارجى له ، موضحاً به مغير الجهد والاطراف الموصلة الى مفاتيح التغيير .

شكل (٢-٣٦) يوضح شكل مفتاح تغيير ـ ١٧ خطوة ـ مناسب لتيار مقنن حتى ٥٠٠ أمبير وجهد النظام ٢٢٠ ك. ف. ثلاثة اوجه . يقسم مغير الجهد سريع الاداء ذو المقاومة (*High Speed Resistor Tap Changers*) الى نوعين :

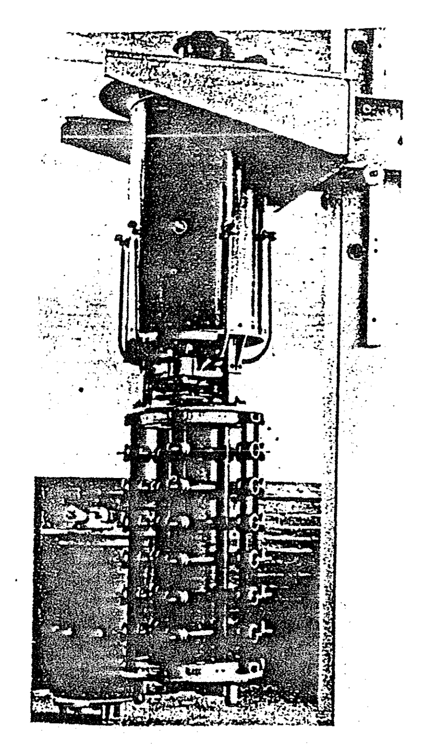


شكل (٣٤-٢) محول ١٢٠ م.ف.أ. ، ١٣,٨/٢٤٠ ك.ف.

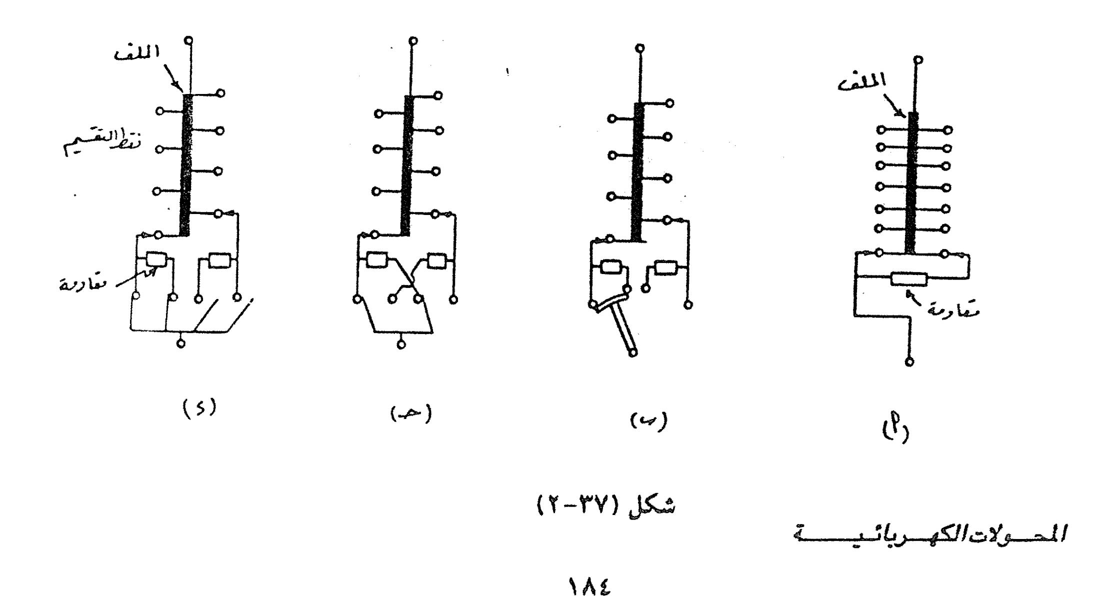
مجهز بتغيير نقط التقسيم عند الحمل



شكل (٣٥-٢) محول ٢٠م.ف.أ. ، ١١/٣٣ ك.ف.موضحاً بها نهايات نقط التقسيم ومفتاح التغيير، فى حالة الحمل



شكل (٣٦-٢) مفتاح تغيير ١٧ خطوة .



شكل (٣٧-٢)

أ – النوع ذو الحجرة الواحدة ويستخدم مفتاح كهربى منتقى من النوع الدائرى *(Rotary Form of Selector Switch)*،وهذا النوع موضح بشكل (٣٧ – ٢) حيث يمثل شكل (٣٧ – ٢) أ مغير جهد باستخدام مقاومة تحويل من النوع المثلث *(Pennant Cycle)* بينما اشكال (٣٧ – ٢) ب ، جـ ، د تحتوى على مقاومتين مستقلتين ومفاتيح تغيير ويعرف هذا النوع بالعلم *(Flag Cycle)* .

كذلك يمكن استخدام الطرق المبينة بشكل (٣٨ – ٢) حيث يمثل شكل (٣٨ – ٢) أ مغير جهد لحدود تغيير خطوة صغيرة ، ويمثل شكل (٣٨ – ٢) ب استخدام مفتاح عكس بالاضافة الى مفتاح منتقى لمغير جهد لحدود تغيير خطوة صغيرة ايضا ، اما شكل (٣٨ – ٢) جـ يمثل مغير جهد منتقى ذى خطوة كبيرة نسبيا وآخر لضبط القيمة النهائية المطلوبة .

يصمم مغير الخطوة طبقا للمواصفات القياسية العالمية *IEC* بحيث يكون عدد مرات التشغيل اكثر من ٢٠٠,٠٠٠ مرة .

شكل (٣٩ – ٢) يوضح مفتاح منتقى كهربى ومفتاح قلاب مغمور فى زيت الخزان الرئيسى للمحول ، حيث ان هذه المفاتيح لا يتم عن طريقها فصل أو توصيل التيار ، وبالتالى لا يحدث منها قوس كهربى يلوث زيت المحول .

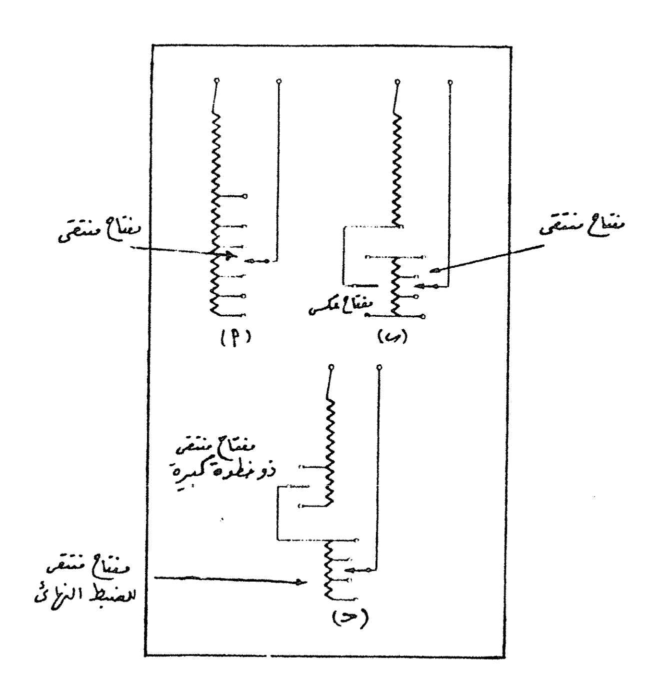
ب – النوع ذو الحجرتين ويستخدم للمحولات ذات القدرات العالية بحيث يوجد مفتاح كهربى منتقى *(Selector Switch)* بحجرة ، ومفاتيح التحويل *(Diverter Switch)* بحجرة اخرى . شكل (٤٠ – ٢) يوضح مغير جهد من النوع ذى الحجرتين .

شكل (٤١ – ٢) يوضح الدائرة المكافئة لنوع مغير الجهد ذى الحجرتين باستخدام مقاومة . يكون النظام فى هذه الحالة على النحو الآتى :

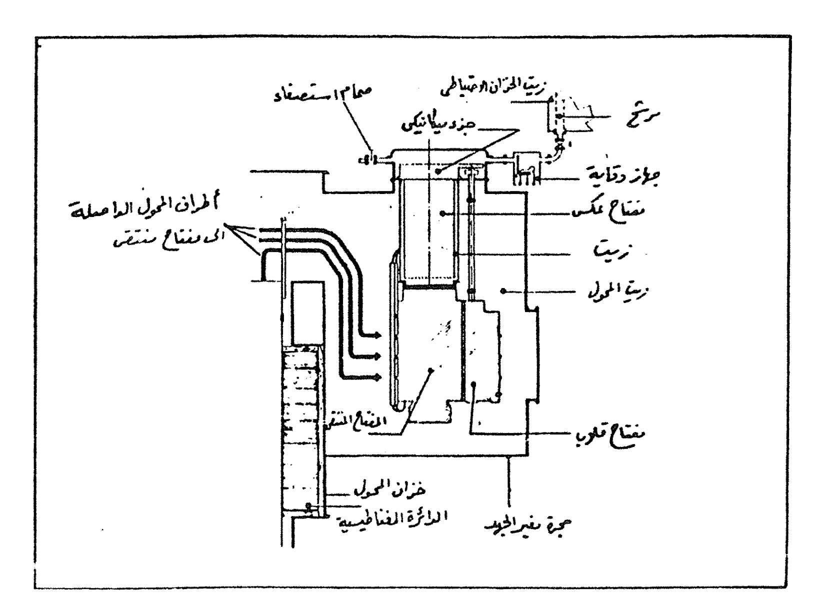
– يوجد مفتاحا كهربائيا من النوع منتقى : S_1 , S_2 *(Selector Switch)* يتم عن طريقهما تغيير نقط التقسيم ، ولكن لا يتم عن طريقهما فصل أو توصيل التيار الكهربى ، ولذلك فهما موضوعان فى الخزان الرئيسى لزيت المحول .

– توجد مفاتيح تحويل *(Diverter Switches)* وتتكون من $M_1 , M_2 , T_1 , T_2 , R_1 , R_2$

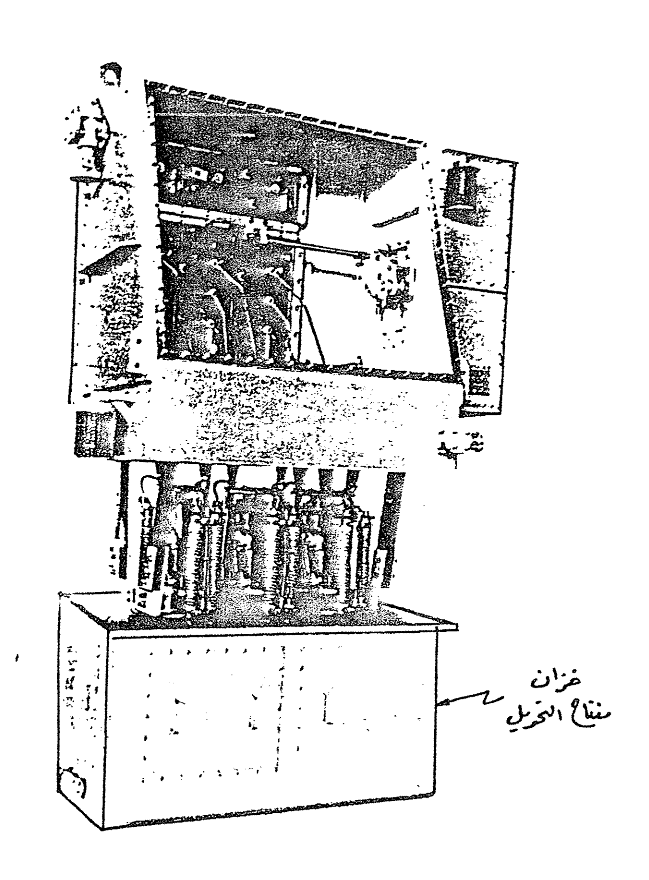
شكل (٤١ – ٢) أ يوضح وضع التشغيل عند الخطوة رقم ١ حيث :



شكل (٣٨-٢) .



شكل (٣٩-٢) مغير جهد من النوع المجهز بمقاومة



شكل (٤٠-٢) مغير جهد من النوع ذى الحجرتين

- مفتاح S_1 عند نقطة التقسيم رقم ١

- المفتاح S_2 عند نقطة التقسيم رقم ٢

- المفتاح T_1 (فى الجانب الايمن) بحيث يمر تيار التحميل (I_L) خلال نقطة التقسيم رقم ١ الى المقاومة R_1 الى المفتاح T_1 حتى نقطة التعادل كما فى شكل (٤١ - ٢) ب .

لتغيير وضع الخطوة من رقم ١ الى رقم ٢ فانه يلزم تغيير مفتاح التحويل من الجانب الايمن الى الجانب الايسر تبعا للخطوات التالية :

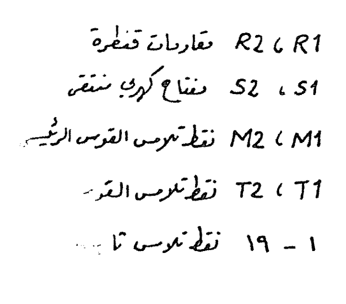
١ - شكل (٤١ - ٢) جـ يتحرك مفتاح التحويل ويصبح جزء التلامس من جهة (M_1) مفتوحا فيمر قوس كهربى ثابت ، يستمر فى هذا الفراغ حتى يصل أول تيار الى قيمة الصفر ، بعد ذلك يمر تيار التحميل I_L من خلال المقاومة R_1 الى نقطة التعادل .

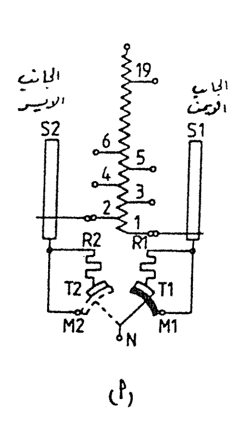
هذا التيار يحدث جهدا مستعادا *(Recovery Voltage)* يساوى $I_L R_1$ مضافا الى الجهد بين الخطوتين ١ ، ٢ .

فى هذه الحالة يجب ان تكون R_1 صغيرة جدا بحيث تعطى اقل جهد *(Recover Voltage)* استعادة ممكن ، ولكن فى اوضاع اخرى يجب ان تكون R_1 قيمة كبيرة للحصول على اقل قيمة للتيار الدائرى ، وعلى ذلك تصمم R_1 بحيث تكون مناسبة للحصول على جهد استعادة صغير وكذلك تيار دائرى مناسب .

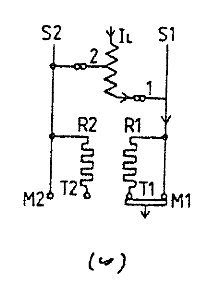
٢ - شكل (٤١ - ٢) د . يتغير وضع نقط تلامس مفتاح التحويل بان يصبح بين T_2,T_1 - فى هذه الحالة يمر تيار التحميل I_L ، خلال المقاومتين R_2 ، R_1 بقيمة $I_L/2$ لكل منهما ، كذلك يمر تيار دائرى I_C فى المقاومتين وفى اتجاه معكوس ، بحيث تكون قيمة التيار المار فى المقاومة R_1 يساوى $(\frac{I_L}{2} - I_C)$ ، وقيمة التيار المار فى المقاومة R_2 يساوى $(\frac{I_L}{2} + I_C)$، قيمة التيار الدائرى I_C يساوى قيمة الجهد بين الخطوتين ١ ، ٢ مقسوما على مجموع المقاومتين R_1, R_2 (فى هذه الحالة يجب ان تكون قيمة كل من R_1, R_2 كبيرة للحصول على قيمة صغيرة للتيار I_C).

٣ - شكل (٤١ - ٢) هـ يتغير وضع نقط تلامس مفتاح التحويل بحيث يصبح هناك فراغ بين T_2 , T_1، فيحدث قوس كهربى مرة ثانية حتى تصل قيمة التيار للصفر . تكون قيمة جهد الاستعادة مساوية الجهد بين الخطوتين ٢،١ مطروحا منها قيمة فقد الجهد للمقاومة R_2

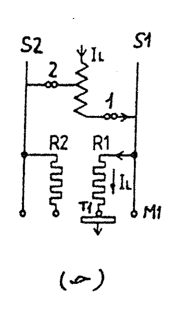




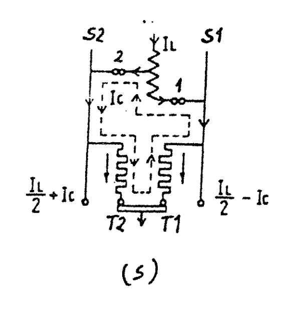
(أ)



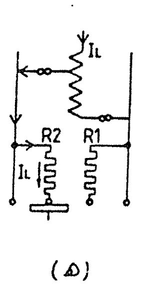
(ب)



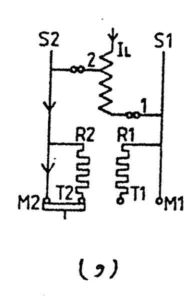
(جـ)



(د)



(هـ)



(و)

شكل (٤١-٢)

٤ – شكل (٤١-٢) و يتم استكمال حركة نقطة تلامس مفتاح التحويل بحيث يمر تيار التحميل I_L خلال المفتاح S_2 ، ومفتاح التحويل T_2 . M_2 الى نقطة التعادل للملف

تتكرر نفس المراحل للتغيير من خطوة إلى أخرى فمثلاً للتغيير من الخطوة ٢ الى الخطوة ٣ ، حيث يتم تغيير وضع المفتاح S_1 من نقطة تقسيم ١ الى نقطة التقسيم ٣ ، قبل تغيير وضع مفتاح التحويل من الجانب الايسر (T_2 , M_2) الى الجانب الايمن (T_1 , M_1).

شكل (٤٢-٢) يمثل مثال لمغير نقط تقسيم بمقاومة احادية ، حيث يتم تغيير نقط التقسيم على الملف الابتدائى لمحول قدره خفض .

شكل (٤٢-٢) أ يمثل وضع الخطوه رقم ١ ، حيث يمر تيار التحميل (I_L) خلال الملف الابتدائى الى نقطة التقسيم رقم ١ ثم نقطة تعادل الملف .

لنقل خطوة المحول من رقم ١ الى رقم ٢ يتم الآتى :

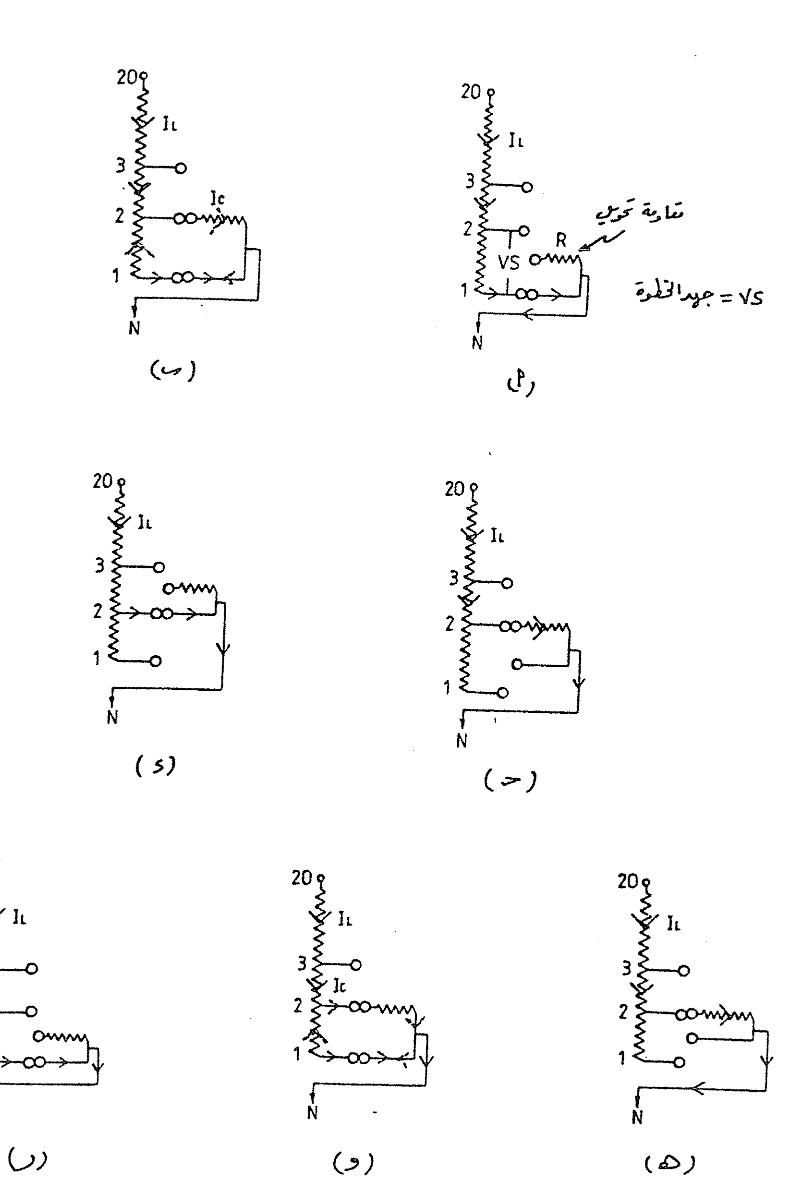
١- شكل (٤٢-٢) ب يتم تغيير وضع نقط تلامس القوس لتلامس نقطة التقسيم رقم ٢ . فيمر تيار التحميل I_L خلال الملف وحتى نقطة التعادل من خلال نقطة التقسيم رقم ١ أيضاً.ويمر تيار دائرى I_c من نقطة التقسيم رقم ٢ الى نقطة التقسيم رقم ١ خلال المقاومة R .

٢ – شكل (٤٢-٢) جـ تفتح نقط تلامس القوس نقطة التلامس رقم ١ ويمر التيار I_L حتى نقطة التقسيم رقم ٢ ، ثم R ، ثم نقطة التعادل .

جهد الاستعادة بين نقطة تلامس القوس المتحرك يساوى جهد الخطوة مطروحاً منه $I_L R$ نقط تلامس القوس الرئيسى تستمر فى الحركة حتى يحدث تلامس ثابت للخطوة رقم ٢ ، عند ذلك يمر تيار التحميل I_L من خلال نقطة التقسيم رقم ٢ ، كما فى شكل (٤٢-٢) د وهو يمثل وضع الخطوة رقم (٢) .

يوجد اختلاف بين الحالتين ، عندما تتحرك نقط التلامس الى أعلى ، للتغيير إلى خطوة أعلى (من الخطوة ١ إلى الخطوة ٢ مثلاً) ، أو عندما تتحرك نقط التلامس إلى اسفل (من الخطوة ٢ الى الخطوة ١ مثلاً) ويكون توضيحها كالآتى :

شكل (٤٢-٢) هـ يمثل بداية التغيير من الخطوة رقم ٢ الى الخطوة رقم ١ ، حيث تتحرك نقط تلامس القوس الرئيسى ، بحيث تلامس المقاومة R نقطة التقسيم رقم ٢ ، ويمر تيار



شكل (٤٢-٢) مغير نقط تقسيم بمقاومة أحادية

التحميل خلال الملف الى نقطة التقسيم رقم ٢ الى المقاومة R الى نقطة التعادل

ثم تتحرك نقطة تلامس القوس لملامسة نقطة التقسيم رقم ١ ، كما فى شكل (٤٢-٢) و فى هذه الحالة يمر تيار التحميل I_L خلال الملف ونقطة التقسيم رقم ١ ، ثم نقطة التعادل ، ويمر تيار دائرى I_C من نقطة التقسيم رقم ١ الى نقطة التقسيم رقم ٢ خلال المقاومة R ، وعلى ذلك فعند الوصول الى الحالة (٤٢-٢)ر يكون التيار المار ، اثناء حدوث القوس عند فتح نقط التلامس فى الوضع ٢ ، هو التيار I_C .

ويكون جهد الاستعادة فى هذه الحالة مساوياً جهد الخطوة بين نقطتى التقسيم رقم ١ ، ٢ .

اذا كانت حدود تغيير نقط التقسيم كبيرة أو كان جهد النظام كبيراً جداً ، فى هذه الحالة يكون الجهد بين الخطوات كبير ، وللتغلب على ذلك تقسم نقط التقسيم الى جزئين كما فى شكل (٤٣-٢) أ ، وتضاف مقاومتان انتقائيتان R_1 , R_2 ، ومفتاحى تحويل ، الشكل يحتوى على عدد ١٤ نقطة تقسيم ، يتم التغيير من خلال نصفهم فقط عند التشغيل .

فى شكل (٤٣-٢) ب الجزء من الملفات المراد التحكم فيه مقسم الى عدد ٩ اجزاء (من نقطة التقسيم رقم ١ الى نقطة التقسيم ١٠) بينما الجزء العلوى طوله يساوى طول ١٠ اجزاء (من نقطة التقسم ١١ الى نقطة التقسيم ١٢) .

فى الاشكال (٤٣-٢) جـ ، ءجزء ملف المحول نفسه يكون معكوس

أختيار نقط التقسيم يعتمد على تصميم المحول ، فى الاشكال (٤٣-٢) أ،ب،جـ ،

نقط التقسيم تبدأ عند نقطة التعادل للملفات المتصلة نجمة ، بينما نجد فى شكل (٤٣-٢)د نقط التقسيم لمحول ذاتى بمراحل عكسية عند نهاية الملف .

شكل (٤٤-٢) يوضح الطرق المختلفة لتنظيم الجهد لمحول ذاتى يحتوى على :

ملف توالى (SW) ، ملف توازى (PW) ، ملف ذى نقط تقسيم (BW)

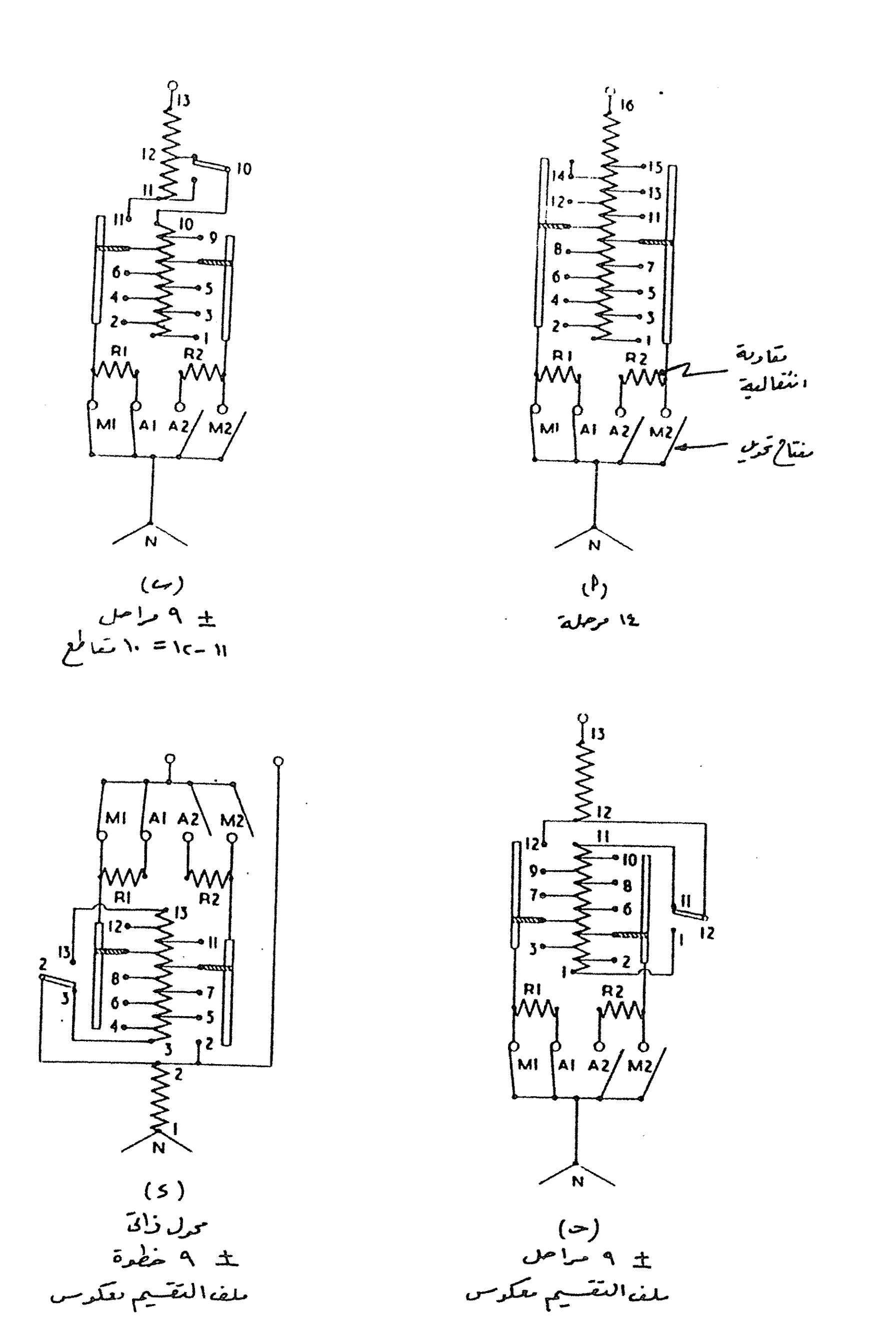
شكل (٤٤-٢) أ يوضح الملف ذا نقط التقسيم موصلاً بين ملف توالى وملف توازى

شكل (٤٤-٢) ب يوضح الملف ذا نقط التقسيم موضوعاً عند نقطة التعادل

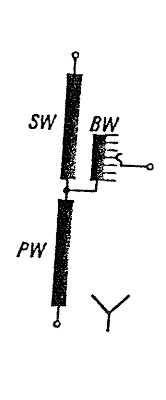
شكل (٤٤-٢)جـ يوضح الملف ذا نقط التقسيم موضوعاً عند نهاية ملف توالى .

شكل (٤٤-٢) د يوضح الملف ذا نقط التقسيم بين ملف توالى وملف توازى

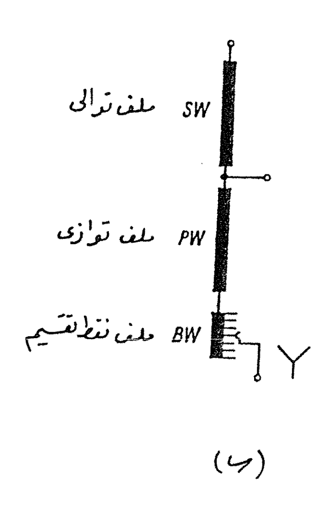
شكل (٤٥-٢) يوضح محول ذاتى ٢٤٠ م. ف. أ. نسبة الجهد ٤٠٠ / ١٣٢ ك. ف. ثلاثة



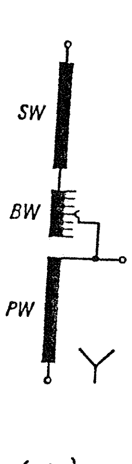
شكل (٤٣-٢) دوائر هغير جهد بإستخدام مقاومة إنتقالية ومفاتيح تحويل



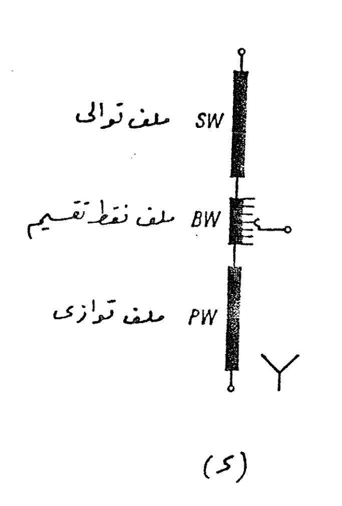
(أ)



(ب)

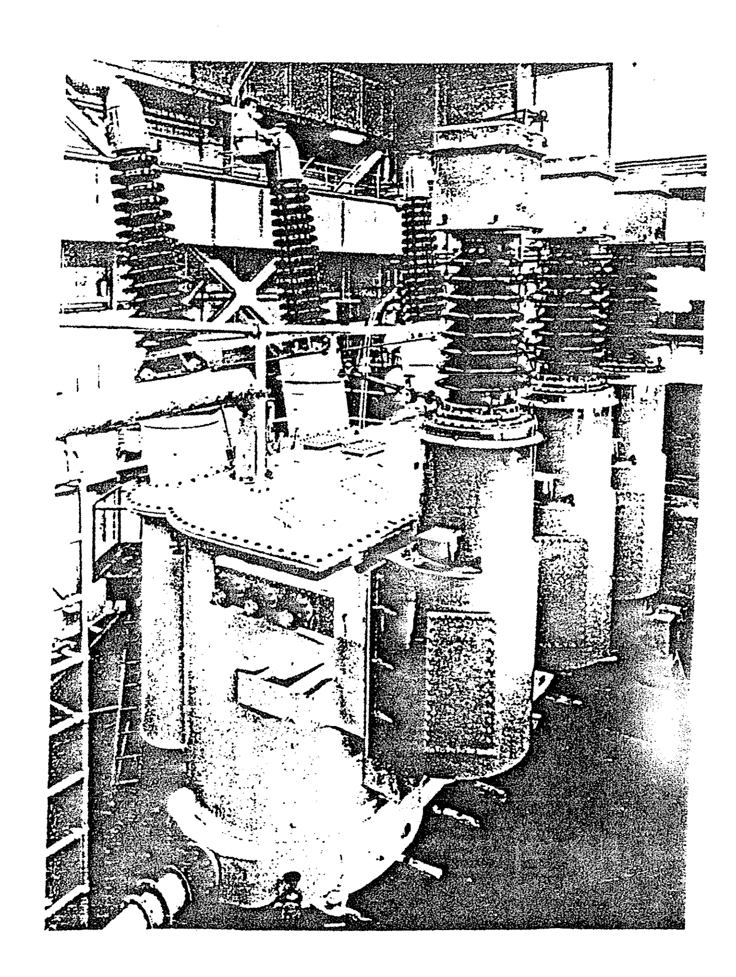


(حـ)

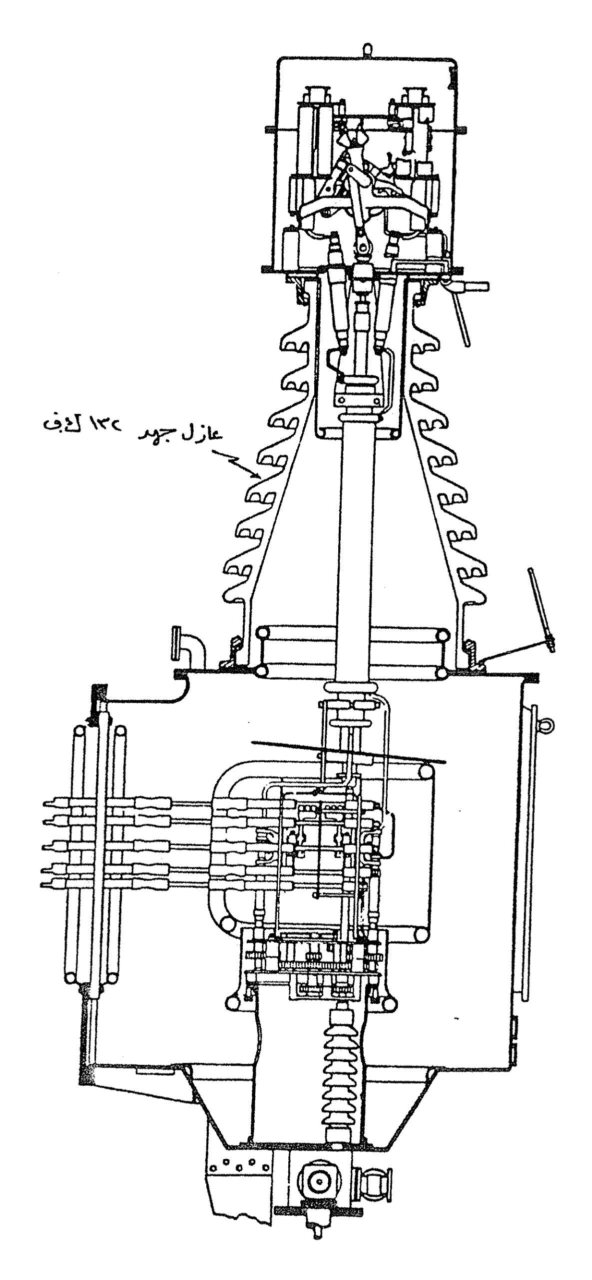


(د)

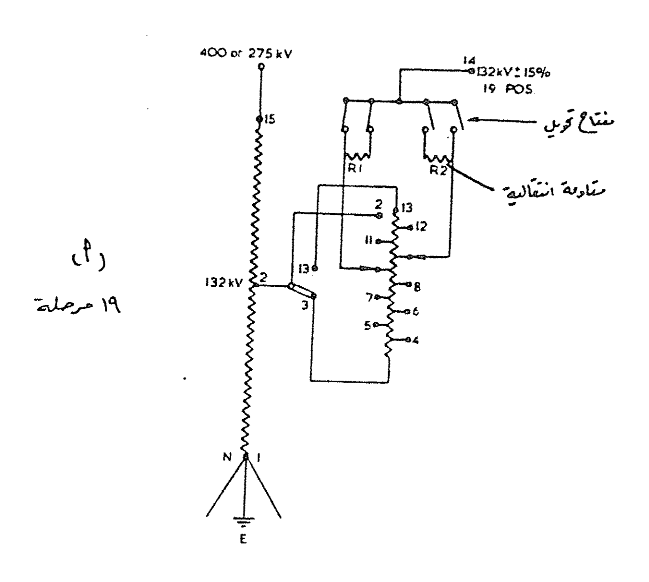
شكل (٤٤-٢)

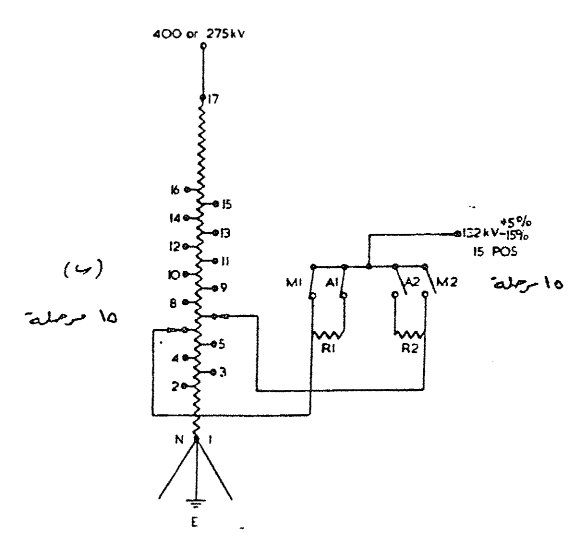


شكل (٤٥-٢) محول قدرة ذاتى ٢٤٠ م.ف.أ. - ٤٠٠/١٣٢ ك.ف.



شكل (٤٦-٢) مقطع فى مغير الجهد الموضح فى شكل (٤٥-٢) .





شكل (٤٧-٢) محول ذاتي ذو مغير جهد

أوجه ـ يحتوى على ثلاثة مغيرات جهد تعمل عند الحمل بنهاية ملف ١٣٢ ك ف.

يلاحظ ان المفتاح الكهربى المنتقى يكون داخل الخزان الرئيسى للمحول بينما مفتاح التغير يكون مثبتاً فى الخزان أعلى عازل أختراق ١٣٢ ك.ف

شكل (٤٦-٢) يوضح مقطع فى مغير الجهد بشكل (٤٥-٢)

يوجد بشبكة كهرباء بريطانيا عدد كبير من المحولات الذاتية جهد ٤٠٠ / ١٣٢ ك.ف ، ٢٧٥ / ١٣٢ ك.ف وتحتوى هذه المحولات على مغير جهد عند حالة الحمل عند نقطة ١٣٢ ك.ف للملف الذاتى . شكل (٤٧-٢) يوضح طريقتين لاستخدام مغير جهد على محول ذاتى .

شكل (٤٧-٢) أ هو الرسم التوضيحى للحالة بشكل (٤٤-٢) أ

بينما شكل (٤٧-٢) ب هو الرسم التوضيحى للحالة بشكل (٤٤-٢) ب.

مثال (٢-١)

شكل (٤٨-٢) يوضح محول قدرة بيانه كالآتى :

القدره : ١٢,٥ م. ف. أ

نسبة الجهد ٦٦ / ١١ ك. ف. يتم تنظيم الجهد من خلال نقط تقسيم على الملف الابتدائى

طريقة توصيل الملفات : Yyd

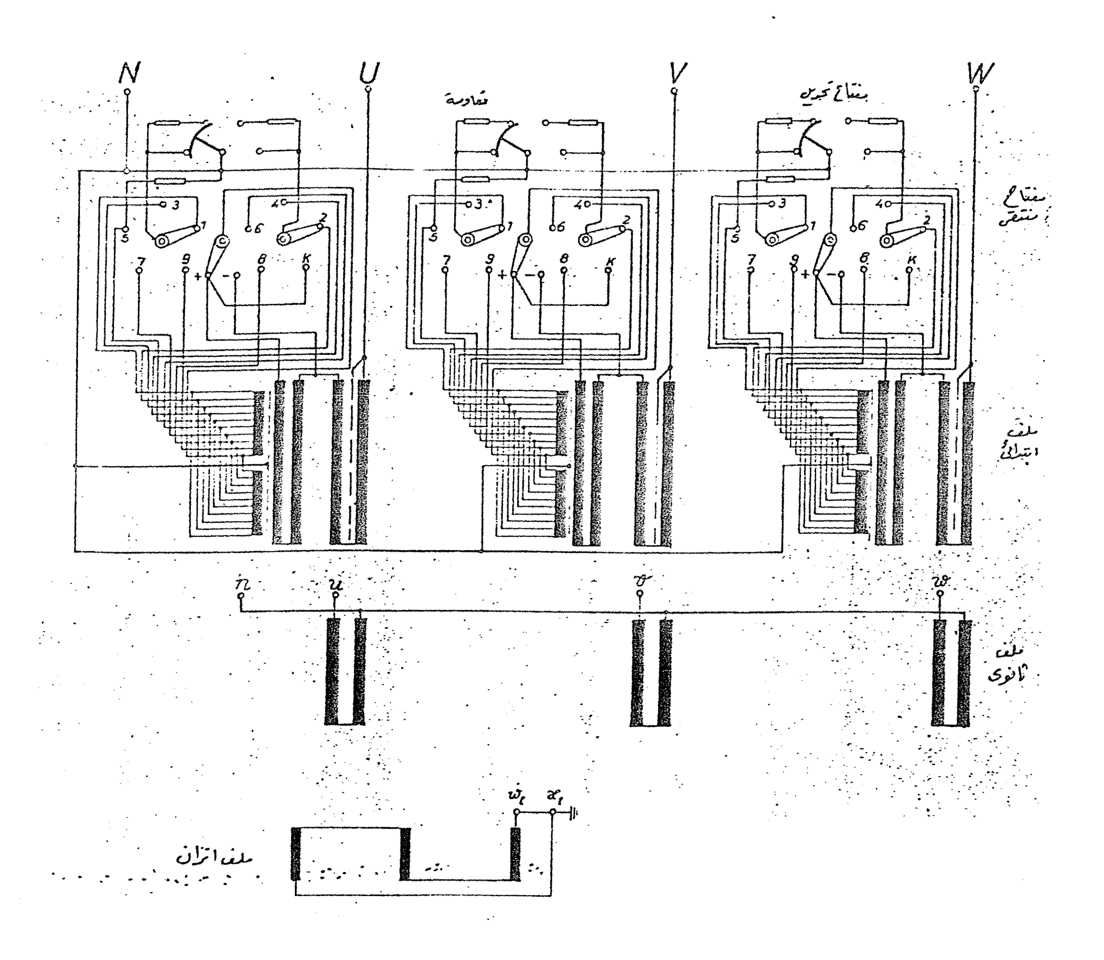
اطراف الملف الابتدائى : UVWN

اطراف الملف الثانوى : uvwn

اطراف ملف الاتزان : w_1x_1

يحتوى المحول على ١٩ خطوة الجهد المقابل لكل خطوة كالآتى :

الخطوة	الجهد بالفولت	الخطوة	الجهد بالفولت	الخطوة	الجهد بالفولت
١	٧٦٢٦٠	٨	٦٨٢٨٠	١٥	٦٠٣٠٠
٢	٧٥١٢٠	٩	٦٧١٤٠	١٦	٥٩١٦٠
٣	٧٣٩٨٠	١٠	٦٦٠٠٠	١٧	٥٨٠٢٠
٤	٧٢٨٤٠	١١	٦٤٨٦٠	١٨	٥٦٨٨٠
٥	٧١٧٠٠	١٢	٦٣٧٢٠	١٩	٥٥٧٤٠
٦	٧٠٥٦٠	١٣	٦٢٥٨٠		
٧	٦٩٤٢٠	١٤	٦١٤٤٠		



شكل (٤٨ - ٢)

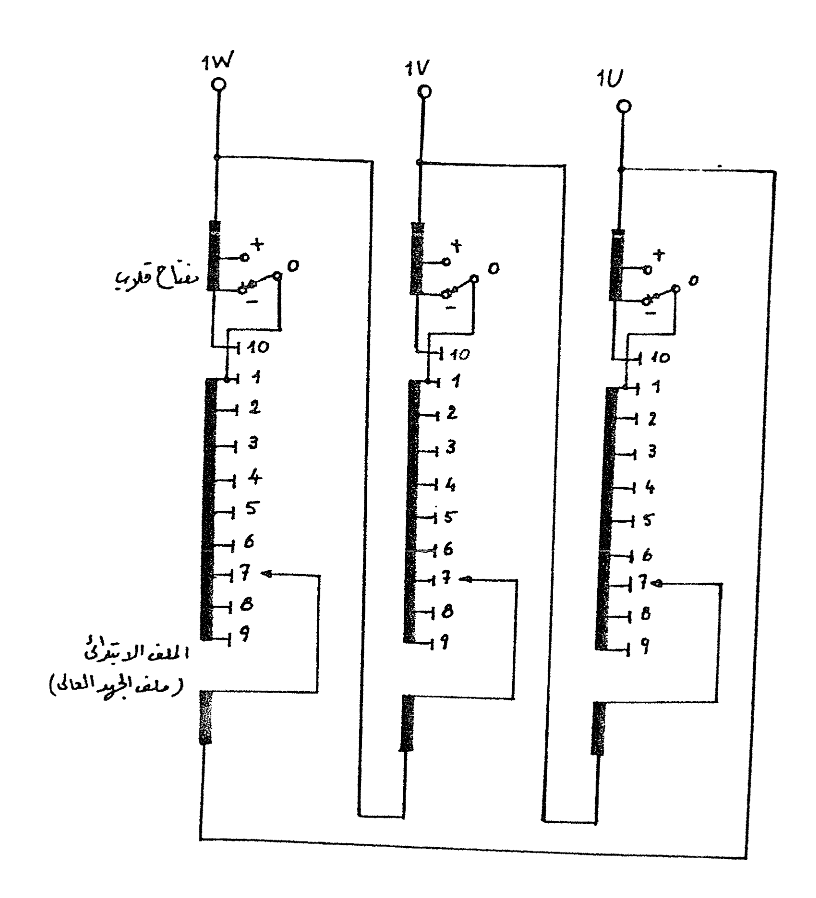
مثال (٢-٢)

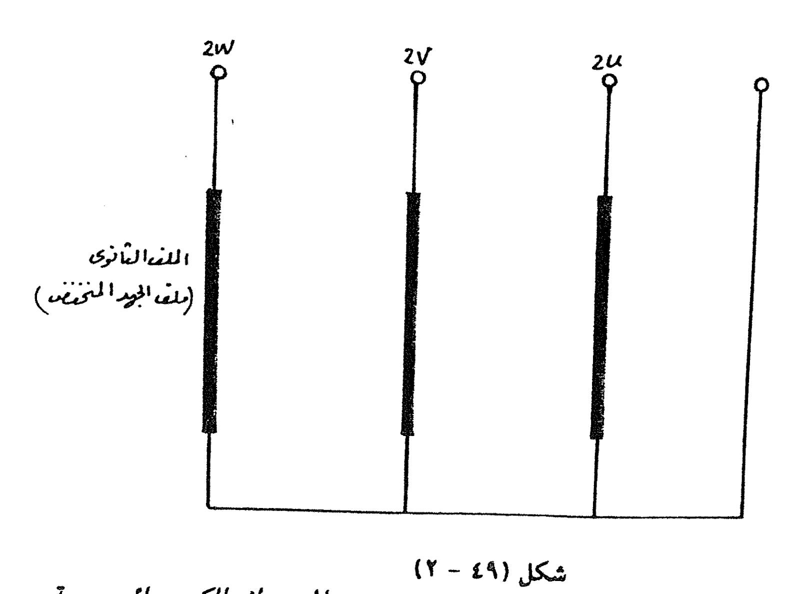
شكل (٤٩-٢) محول قدره " يابانى " بيانة كالآتى ·
القدره : ٢٥ م. ف. أ
نسبة الجهد : ٦٦ / ١١,٤ ك. ف.
المجموعة الاتجاهية : Dy
عدد الخطوات : ١٩ خطوة
ملف ابتدائى

الجهد	التيار بالامبير		الخطوة	التوصيلات	
	ONAN	ONAF		مفتاح الخطوة	مفتاح قلاب
٧٢٦٠٠	١٤٩	١٩٩	١	٨	
٧١٧٨٠	١٥١	٢٠١	٢	٩	
٧٠٩٥٠	١٥٣	٢٠٣	٣	٧	
٧٠١٣٠	١٥٤	٢٠٦	٤	٦	−
٦٩٣٠٠	١٥٦	٢٠٨	٥	٥	
٦٨٤٨٠	١٥٨	٢١١	٦	٤	
٦٧٦٥٠	١٦٠	٢١٣	٧	٣	
٦٦٨٣٠	١٦٢	٢١٦	٨	٢	
٦٦٠٠٠	١٦٤	٢١٩	١٩ ٩ب ٩جـ	١ ١٠ ٩	
٦٥١٨٠	١٦٦	٢٢١	١٠	٨	
٦٤٣٥٠	١٦٨	٢٢٤	١١	٧	
٦٣٥٣٠	١٧٠	٢٢٧	١٢	٦	
٦٢٧٠٠	١٧٣	٢٣٠	١٣	٥	+
٦١٨٨٠	١٧٥	٢٣٣	١٤	٤	
٦١٠٥٠	١٧٧	٢٣٦	١٥	٣	
٦٠٢٣٠	١٨٠	٢٤٠	١٦	٢	
٥٩٤٠٠	١٨٢	٢٤٣	١٧	١	

ملف ثانوى

١١٤٠٠	٩٥٠	١٢٧٠


1W
1V
1U
مفتاح قلاب
+
0
−
10
1
2
3
4
5
6
7
8
9
الملف الابتدائى
(ملف الجهد العالى)


2W
2V
2U
الملف الثانوى
(ملف الجهد المنخفض)

شكل (٤٩ - ٢)

مثال(٢-٣)

محول قدره المانى شرقى شكل (٥٠-٢) بيانه كالآتى :

القدرة : ٢٥ م. ف. أ.

نسبة الجهد : ٦٦ / ١١ ك. ف.

المجموعة الاتجاهية : YNynod

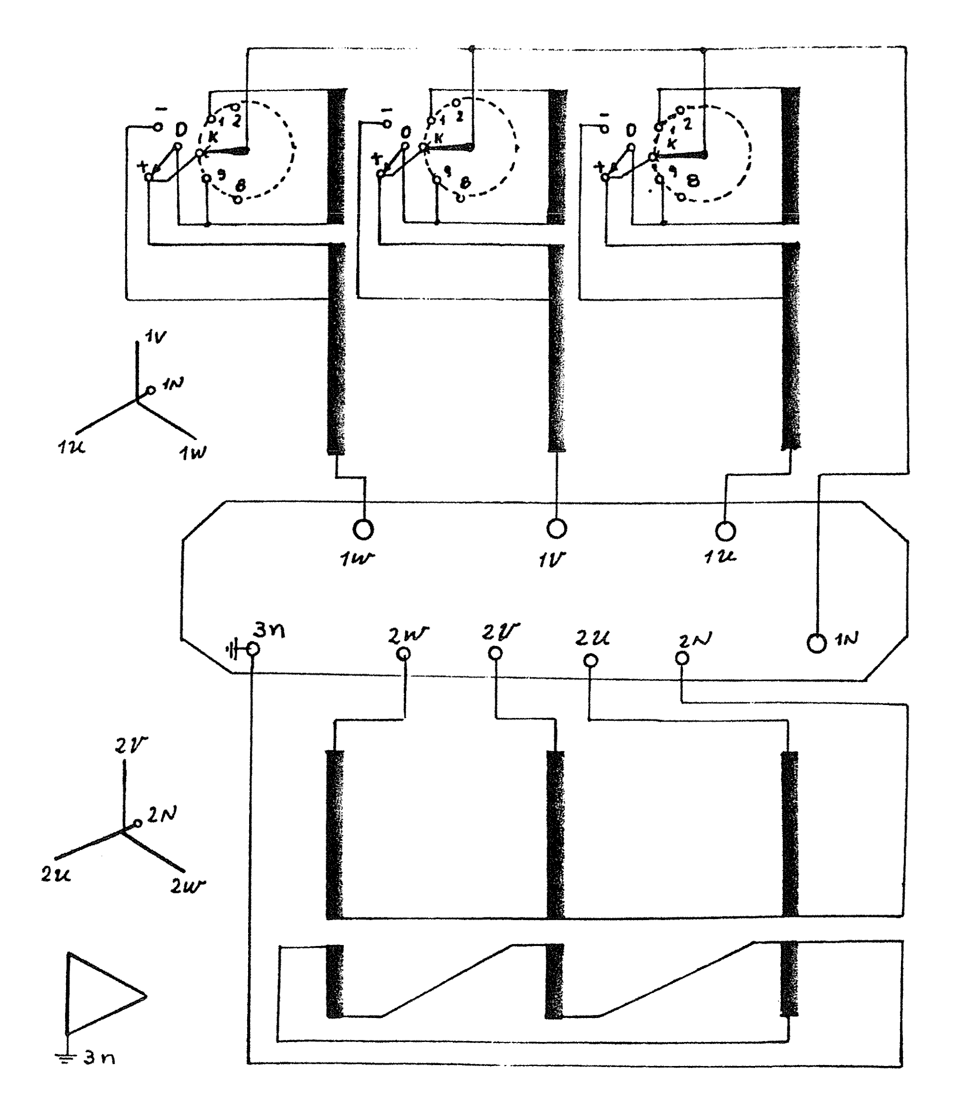
عدد الخطوات : ١٩ خطوة

ملف الجهد العالى

الخطوة	الجهد (ڤولت)	التيار (أمبير) ONAN	ONAF	التوصيلة
١	٧٢٦٠٠	١٥٩	١٩٨,٨	١ (الطرف O، +)
٢	٧١٧٧٥	١٦٠,٩	٢٠١,١	٢
٣	٧٠٩٥٠	١٦٢,٧	٢٠٣,٤	٣
٤	٧٠١٢٥	١٦٤,٧	٢٠٥,٨	٤
٥	٦٩٣٠٠	١٦٦,٦	٢٠٨,٣	٥
٦	٦٨٤٧٥	١٦٨,٦	٢١٠,٨	٦
٧	٦٧٦٥٠	١٧٠,٧	٢١٣,٤	٧
٨	٦٦٨٢٥	١٧٢,٨	٢١٦,٠	٨
٩أ				٩
٩	٦٦٠٠٠	١٧٥,٠	٢١٨,٧	K
٩ب				١ (الطرف O، -)
١٠	٦٥١٧٥	١٧٧,٢	٢٢١,٥	٢
١١	٦٤٣٥٠	١٧٩,٤	٢٢٤,٣	٣
١٢	٦٣٥٢٥	١٨١,٨	٢٢٧,٢	٤
١٣	٦٢٧٠٠	١٨٤,٢	٢٣٠,٢	٥
١٤	٦١٨٧٥	١٨٦,٦	٢٣٣,٣	٦
١٥	٦١٠٥٠	١٨٩,١	٢٣٦,٨	٧
١٦	٦٠٢٢٥	١٩١,٧	٢٣٩,٧	٨
١٧	٥٩٤٠٠	١٩٤,٤	٢٤٣,٠	٩

ملف الجهد المنخفض

	الجهد	ONAN	ONAF
	١١٥٠٠	١٠٠٤	١٢٥٥



شكل (٢-٥٠)

مثال (٢-٤)

محول قدرة (وستنجهاوس) بيانه كالآتى :

القدرة : ٢٥ م.ف.أ

نسبة التحويل : ٦٦ / ١١ ك. ف.

المجموعة الاتجاهية : Yyd

مغير الجهد :

- يتم تغيير الجهد على الملف الابتدائى بعدد ٣ خطوات فى حالة اللاحمل .

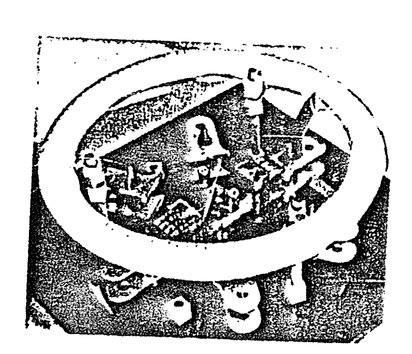
- يتم تغيير الجهد على الملف الثانوى بعدد ١٦ خطوة رفع ، ١٦ خطوة خفض فى حالة الحمل بأجمالى ٣٣ خطوة .

شكلى (٥١-٢)أ ، ب يوضحا مفتاح التوصيل لتغيير الجهد فى حالة اللاحمل ، والشكل الداخلى للجزء العلوى للملفات .

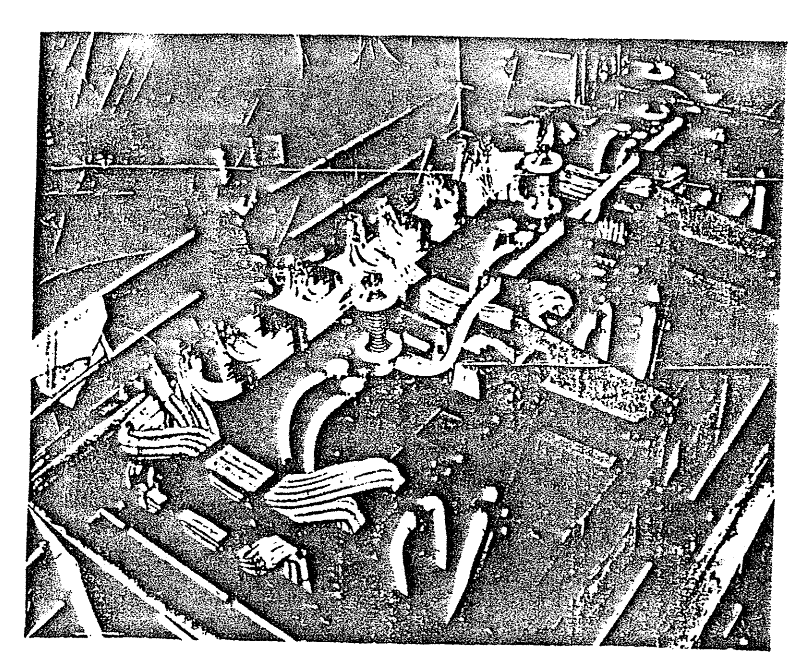
الجدول يوضح الجهد ، الخطوة ، الاطراف .

شكل (٥٢-٢) يوضح نقط التقسيم على الملف الثانوى، والمفاتيح الخاصة للحصول على عدد ٣٣ خطوة .

شكل (٥٣-٢) يوضح الخطوات اللازمة لنقل خطوة المحول من رقم ١٦ الى رقم ١٥ من خلال الاشكال (أ ، ب ، جـ ، ء ، هـ ، و)

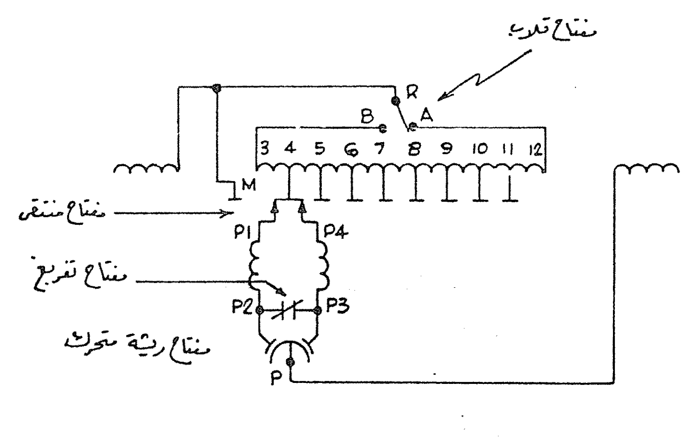


(أ) مفتاح مغير جهد عند اللاحمل

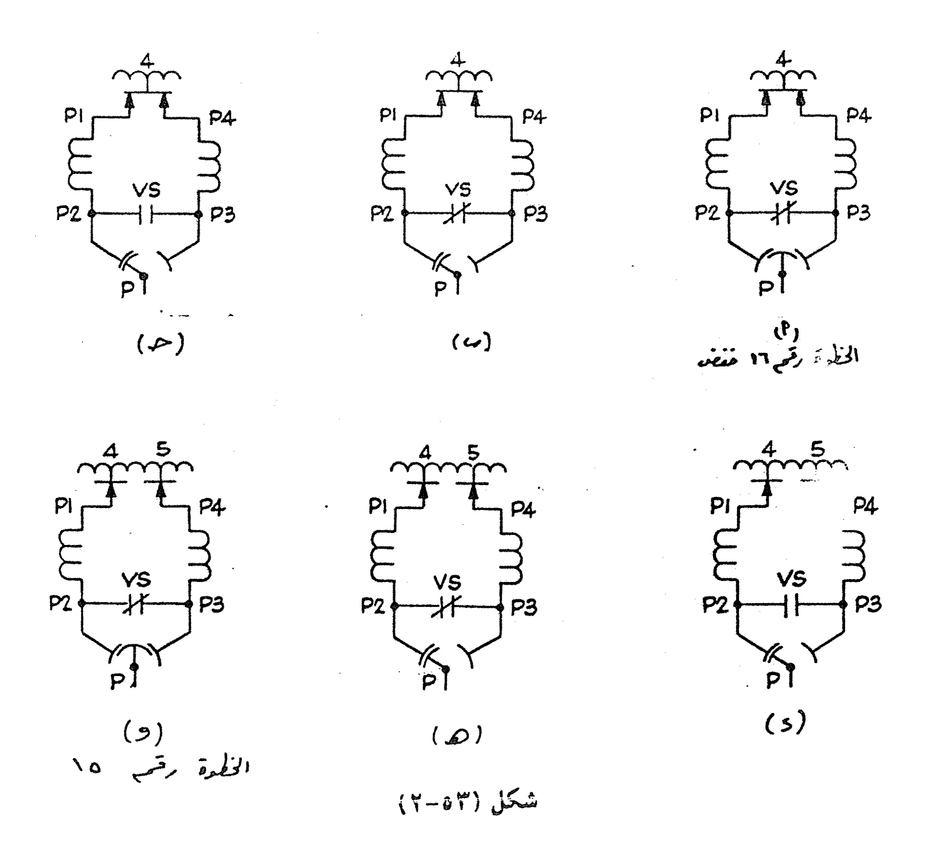


(ب) الشكل الداخلي للجزء العلوي من الملفات

شكل (٥١-٢)



شكل (٢-٥٢)



شكل (٢-٥٣)

الملف	الجهد	الخطوة	الاطراف لكل وجه		
ملف الجهد العالى Y	٦٩٣٠٠	١	٤٤	الى	٤٥
	٦٦٠٠٠	٢	٤٣	الى	٤٥
	٦٢٧٠٠	٣	٤٣	الى	٤٦
ملف الجهد الثانوى y			P_1	P4	R
	١٢١٠٠	١٦ (رفع)	١١	١١	B
	١٢٠٣١	١٥	١٠	١١	B
	١١٦٩٢	١٤	١٠	١٠	B
	١١٨٩٩	١٣	٩	١٠	B
	١١٨٢٥	١٢	٩	٩	B
	١١٧٥٦	١١	٩	٩	B
	١١٦٨٧	١٠	٨	٨	B
	١١٦١٩	٩	٧	٨	B
	١١٥٥٠	٨	٧	٧	B
	١١٤٢١	٧	٦	٧	B
	١١٤١٢	٦	٦	٦	B
	١١٣٤٤	٥	٥	٦	B
	١١٢٧٥	٤	٥	٥	B
	١١٢٠٦	٣	٤	٥	B
	١١١٣٧	٢	٤	٤	B
	١١٠٦٩	١	M	٤	A
	١١٠٠٠	التعادل	M	M	A
	١٠٩٣١	١ (خفض)	١١	M	A
	١٠٨٢٦	٢	١١	١١	A
	١٠٧٩٤	٣	١٠	١١	A
	١٠٧٢٥	٤	١٠	١٠	A
	١٠٦٢٥	٥	٩	١٠	A
	١٠٥٨٧	٦	٩	٩	A
	١٠٥١٩	٧	٨	٩	A
	١٠٤٥٠	٨	٨	٨	A
	١٠٣٨١	٩	٧	٨	A
	١٠٣١٢	١٠	٧	٧	A
	١٠٢٤٤	١١	٦	٧	A
	١٠١٧٥	١٢	٦	٦	A
	١٠١٠٦	١٣	٥	٦	A
	١٠٠٧٣	١٤	٥	٥	A
	٩٩٦٩	١٥	٤	٥	A
	٩٩٠٠	١٦	٤	٤	A

مثال : (٢-٥)

محول قدرة " ميرلان جيران " بيانه كالآتى

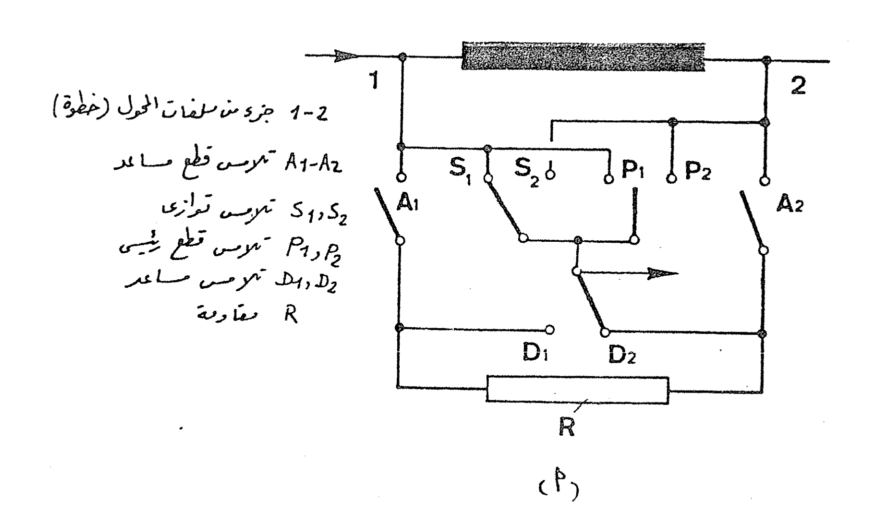
القدرة : ٢٥ م. ف. أ

نسبة الجهد : ٦٦٠٠٠ ± ٨ × ١,٢٥ ٪ / ١١٠٠٠ ڤولت

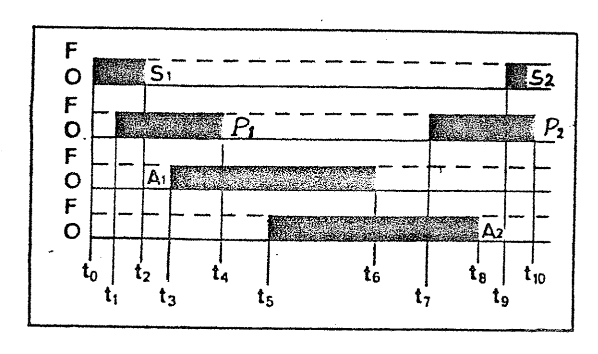
المجموعة الاتجاهية : YNynod

عدد الخطوات : ١٩ خطوة

الخطـــوة	جهد الملف الابتدائى	التيار بالأمبير		جهد الملف الثانوى	التيار بالأمبير		النسبة
		ONAN	ONAF		ONAN	ONAF	
١	٧٢٦٠٠	١٥٩	١٩٨,٨	١١٠٠٠	١٠٤٩	١٣١٢	٦,٥٨٣
٢	٧١٧٧٥	١٦٠,٩	٢٠١,١				٦,٥٠٨
٣	٧٠٩٥٠	١٦٢,٧	٢٠٣,٤				٦,٤٣٣
٤	٧٠١٢٥	١٦٤,٧	٢٠٥,٨				٦,٣٥٨
٥	٦٩٣٠٠	١٦٦,٦	٢٠٨,٣				٦,٢٨٣
٦	٦٨٤٧٥	١٦٨,٦	٢١٠,٨				٦,٢٠٣
٧	٦٧٦٥٠	١٧٠,٧	٢١٣,٤				٦,١٣٣
٨	٦٦٨٢٥	١٧٢,٨	٢١٦,٠				٦,٠٥٨
٩أ،٩ب،٩جـ	٦٦٠٠٠	١٧٥,٠	٢١٨,٧	١١٠٠٠	١٠٤٩	١٣١٢	٥,٩٨٣
١٠	٦٥١٧٥	١٧٧,٢	٢٢١,٥				٥,٩٠٦
١١	٦٤٣٥٠	١٧٩,٤	٢٢٤,٣				٥,٨٣٣
١٢	٦٣٥٢٥	١٨١,٨	٢٢٧,٢				٥,٧٥٨
١٣	٦٢٧٠٠	١٨٤,٢	٢٣٠,٢				٥,٦٨٣
١٤	٦١٨٧٥	١٨٦,٦	٢٣٣,٣				٥,٦٠٨
١٥	٦١٠٥٠	١٨٩,١	٢٣٦,٤				٥,٥٣٣
١٦	٦٠٢٢٥	١٩١,٤	٢٣٩,٧				٥,٤٥٨
١٧	٥٩٤٠٠	١٩٤,٤	٢٤٣,٠	١١٠٠٠	١٠٤٩	١٣١٢	٥,٣٨٣



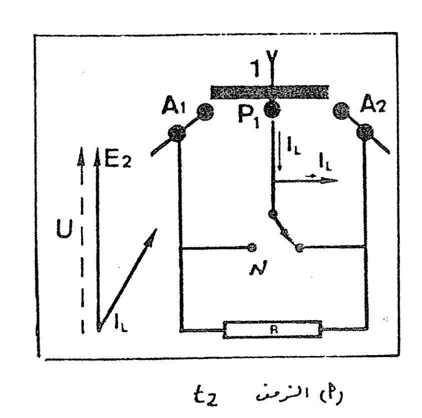
(أ)



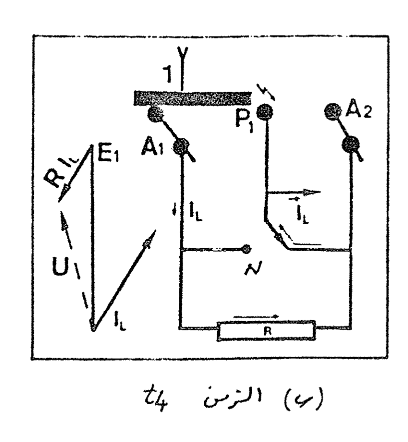
O = OFF , F = ON و

(ب)

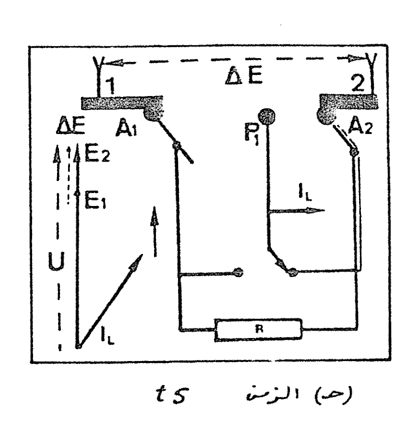
شكل (٥٤-٢)



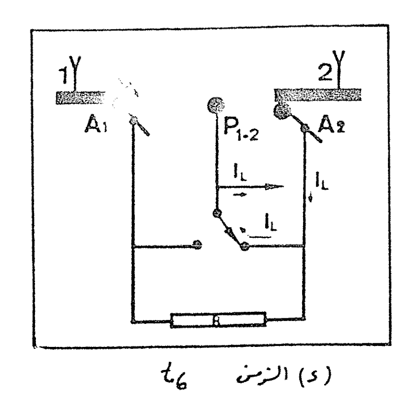
(أ) الزمن t_2



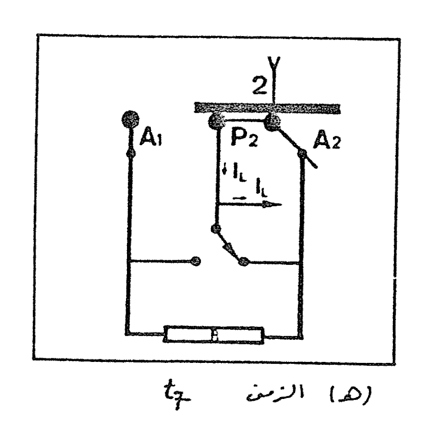
(ب) الزمن t_4



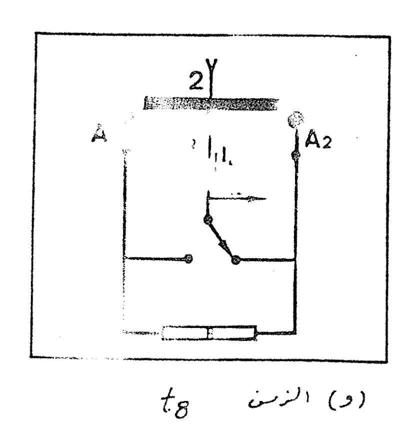
(حـ) الزمن t_5



(د) الزمن t_6



(هـ) الزمن t_7



(و) الزمن t_8

شكل (٥٥-٢)

شكل (٥٤-٢) أ يوضح وضع الخطوة رقم ١ وفيها يكون المفتاح S_1 مغلقاً وكذلك المفتاح D_2 فقط ، حيث يمر التيـار من خلال نقطة التقسيم رقم ١ ومنها الى S_1 إلى نقطـة التعـادل N .

شكل (٥٤-٢) ب يوضح خطوات تتابع المفاتيح بالشكل رقم (٥٤-٢) أ لتحويل الخطوة رقم ١ الى الخطوة رقم ٢ .

شكل (٥٥-٢) يوضح الخطوات التنفيذية لذلك :

شكل (٥٥-٢) أ يوضح الزمن الكلى لفتح المفتاح S_1 أى الزمن t_2 وفى هذه الحالة يمر تيار الحمل I_L من نقطة التقسيم ١ الى المفتاح P_1 الى نقطة التعادل .

شكل (٥٥-٢)ب يوضح الزمن t_4 وبعد هذا الزمن يفتح P_1، ويمر القوس الكهربى للتيار I_L خلال المفتاح P_1، يخمد القوس الكهربى عند مرور التيار بقيمة الصفر لاول مرة خلال المفتاح P_1 ، ويكون الجهد على طرفى المفتاح p_1 مساوياً RI_L.

شكل (٥٥-٢) جـ يوضح الزمن t_5 وفى هذه الحالة يكون A_1 مغلقاً ومتصلاً بنقطة التقسيم رقم ١ . وابتداء من الزمن t_5 يصبح A_2 مغلقاً ومتصلاً بنقطة التقسيم رقم ٢ ، ويمر تيار التحميل I_L من نقطة التقسيم رقم ١ الى نقطة التقسيم رقم ٢ (يمر تيار قصير دائرى خلال المقاومة R).

شكل (٥٥-٢) د يوضح الزمن t_6 عند هذا الزمن يفتح A_1 ويحدث قوس كهربى نتيجة التيار الدائرى ، ويخمد القوس عند مرور التيار بقيمة الصفر لأول مرة .

شكل (٥٥-٢) هـ يوضح الزمن t_7 وهو بداية اشتغال P_2 ومازال A_2 موصلاً من خلال نقطة التقسيم رقم ٢ .

شكل (٥٥-٢) و يوضح الزمن t_8وعند هذا الزمن يفتح A_2 ويمر تيار التحميل I_L من خلال نقطة التقسيم رقم ٢ ، والتلامس P_2 الى نقطة التعادل . وهذه هى الحالة التى تمثل الخطوة رقم ٢ .

تنظيم جهد المحول فى حالة الحمل *On Load Regulation*

يتم التحكم فى جهد المحول فى حالة الحمل عن طريق تغيير عدد لفات الملف بدون

فصل مصدر التغذية .

تكون العلاقة العامة بين الجهد (U)بالڤولت وعدد اللفات(N)

$$U = 2.22\, B\, A\, N \quad \text{ڤولت} \qquad (٤-٥)$$

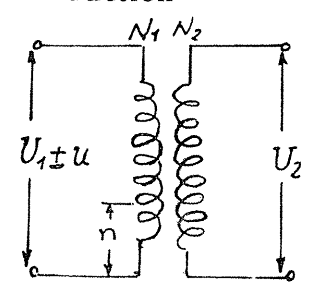
حيث B = كثافة الفيض المغناطيسى (التأثير المغناطيسى) ويبر على كل متر مربع (١ ويبر = ١٠ ^٨ خط)

A= مساحة الصلب فى قلب المحول بالمتر المربع

$$\frac{U}{N} \; \alpha \; B \qquad (٥-٢)$$

اى ان النسبة بين الجهد وعدد اللفات تتناسب مع كثافة الفيض المغناطيسى ، حيث ان المساحة (A) ثابتة . وسندرس فيما يلى العلاقة بين الجهد وعدد اللفات عندثبوت كثافة الفيض المغناطيسى أو عند تغييره .

١ - تنظيم جهد الملف الابتدائى عند كثافة فيض مغناطيسى ثابت Regulation of The Primary At Constant (تأثير مغناطيسى ثابت) Induction



نفرض ان :

U_1= جهد الملف الابتدائى بالڤولت ويتغير فى حدود $\pm u$

U_2= جهد الملف الثانوى بالڤولت

N_1= عدد لفات الملف الابتدائى المقابله U_1

N_2= عدد لفات الملف الثانوى .

n = عدد اللفات الابتدائى ، التى سيتم تنظيم الجهد بالڤولت من خلالها فى حدود $\pm u$

$$\frac{\text{حدود جهد الملف الابتدائى بالڤولت}}{\text{جهد الملف الثانوى بالڤولت}} = \frac{U_1 \pm u}{U_2}$$

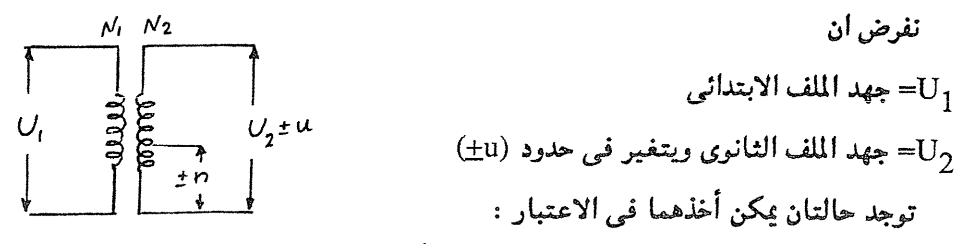
$$\frac{\text{حدود عدد لفات الملف الابتدائى}}{\text{عدد لفات الملف الثانوى}} = \frac{N_1 \pm n}{N_2}$$

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_1 \pm u}{N_1 \pm n} = \frac{U_2}{N_2} = \text{ثابت}$$

بالرجوع الى المعادلة رقم (٥-٢) نجد أن النسبة بين الجهد وعدد اللفات تظل ثابتة اذا كان التأثير المغناطيسى (B) ثابتاً .

٢ - تنظيم جهد الملف الثانوى

Regulation Of The Secondary Voltage



نفرض ان

U_1= جهد الملف الابتدائى

U_2= جهد الملف الثانوى ويتغير فى حدود $(\pm u)$

توجد حالتان يمكن أخذهما فى الاعتبار :

أ - قيمة جهد الملف الثانوى تكون عالية نسبياً (محولات القدرة ذات الجهود العالية مثلاً ٢٢٠ / ٦٦ ك.ف أو ٢٢٠ / ١٣٢ ك. ف) حيث يكون عدد لفات الملف الثانوى ذا قيمة مقبولة (أى ليس عدد قليلاً من اللفات) ، فى هذه الحالة يتم تنظيم الجهد عن طريق تغيير عدد لفات الملف الثانوى ، ويتبع فيها نفس الحالة السابقة عند ثبوت التأثير المغناطيسى .

$$\frac{\text{جهد الملف الابتدائى}}{\text{حدود جهد الملف الثانوى}} = \frac{U_1}{U_2 \pm u}$$

$$\frac{\text{عدد لفات الملف الابتدائى}}{\text{حدود عدد لفات الملف الثانوى}} = \frac{N_1}{N_2 \pm n}$$

$$\frac{U_1}{N_1} = \frac{U_2 \pm u}{N_2 \pm n} = \text{ثابت}$$

(ب) إذا كانت قيمة جهد الملف الثانوى منخفضة نسبياً (محولات القدرة التى تخفض الجهد الى قيمة متوسطة) يكون عدد لفات الملف الثانوى قليلة نسبياً ، وفى هذه الحالة يتم تنظيم جهد الملف الثانوى عن طريق تغيير عدد لفات الملف الابتدائى عند تأثير

مغناطيسى متغير ، على النحو التالى :

$$\frac{U_1}{U_2 \pm u} = \frac{\text{جهد الملف الابتدائى}}{\text{حدود جهد الملف الثانوى}}$$

$$\frac{N_1 \pm n}{N_2} = \frac{\text{حدود عدد لفات الملف الابتدائى}}{\text{عدد لفات الملف الثانوى}}$$

بالنسبة للملف الابتدائى :

$$\frac{U_1}{N_1 \pm n} = 2.22\,B\,A$$

نفرض ان U_1 ثابت

$$\frac{U_1}{2.22\,A} = K$$ قيمة ثابتة

$$B = \frac{K}{N_1 \pm n}$$

اى ان التأثير المغناطيسى يتغير بتغيير عدد لفات تنظيم الجهد (n)

بالنسبة للملف الثانوى :

$$\frac{U_2}{N_2} = 2.22\,B\,A$$

حيث أن N_2 ثابتة فان

$\lambda = 2.22\, N_2\, A =$ ثابت

$$U_2 = \lambda B$$

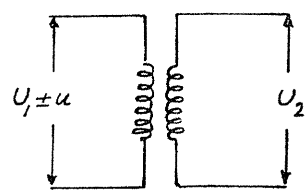
أى أن جهد الملف الثانوى U_2 يتغير بتغيير التأثير المغناطيسى (B)

الحالة العامة :

يجب تحقيق الآتى للوصول للحالة العامة :

- يتغير جهد الملف الابتدائى U_1 فى حدود ($\pm u$)
- يكون حمل الملف الثانوى متغيراً
- يكون معامل القدرة ($\cos \phi$) للحمل متغيراً

على أن تكون قيمة جهد الملف الثانوى ، عند حالة الحمل ، ثابتة ومساوية لقيمة الجهد المقنن .

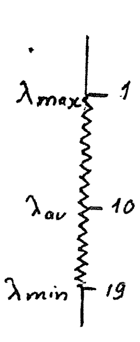


يلزم حساب حدود تنظيم الجهد على الملف الابتدائى مع تحقيق الشروط المذكورة عالياً . كذلك يجب حساب حدود جهد الملف الثانوى عند حالة اللاحمل وعند أقصى وضع لنقط التقسيم ، وعلى ذلك يحسب :

- اقصى خفض فى الجهد (عند أقصى حمل ، أقل معامل قدرة) تبعاً لأعلى جهد للملف الثانوى فى حالة اللاحمل .
- أقل خفض فى الجهد (عند أقل حمل ، أقصى معامل قدرة) تبعاً لأقل جهد للملف الثانوى فى حالة اللاحمل .

وعلى ذلك :

$$\text{أقصى نسبة تحويل} = \lambda_{max} = \frac{(1 + u\,\%)\, U_1}{U_{2(\text{min off Load})}}$$



$$\text{أقل نسبة تحويل} = \lambda_{min} = \frac{(1 \quad u\%)\,U_1}{U_{2(\text{max off Load})}}$$

$$\text{القيمة المتوسطة لنسبة التحويل} = \lambda_{av} = \frac{\lambda\, max + \lambda\, min}{2}$$

وعلى ذلك يكون حدود التغيير (تنظيم الجهد) عبارة عن :

$$\pm 1/2 \left[\frac{\lambda\, max - \lambda\, min}{\lambda_{av}} \right] 100\,\% \qquad (٦-٢)$$

أى ان :

$$\text{حدود التغيير (تنظيم الجهد)} = \pm \frac{١}{٢} \; \frac{\text{أقصى نسبة تحويل – أقل نسبة تحويل}}{\text{القيمة المتوسطة لنسبة التحويل}} \; ١٠٠ \,\%$$

يلاحظ ان النسبة $\frac{U_1}{U_2}$ (اى نسبة جهد الملف الابتدائى الى جهد الملف الثانوى) لاتمثل القيمة المتوسطة لنسبة التحويل ، ولكن تنتقل القيمة الى أعلى أو الى أسفل معتمدة على حدود قيمة الحمل ومعامل القدرة .

مثال

مواصفات محول قدرة كالآتى :

قدرة المحول = $P_A = 10000$ KVA

نسبة الجهد = $60/20$ KV

(مفقودات مقاومة المحول عند الحمل الكامل) مفقودات الحمل = $P_c = 70$ KW

Reactance Short Circuit Voltage = $L_{w1}\,\% = V_{cc}\,\% = 10\,\%$

(النسبة المئوية لجهد دائرة القصر الحثى)

جهد الملف الابتدائى $60 \text{ KV} \pm 10\,\%$ ويلـــزم تثبيت جهد الملف الثانوى عند 20 KV

مع :

حمل متغير من ٤/٢ الى ٤/٤ معامل حمل (أى نصف حمل الى حمل كامل)

- معامل قدرة متغير من ٨, (جا ϕ = ٠,٦) الى معامل قدرة ٠,٩٥ (جا ϕ = ٠,٣١)

الحل :

عند معامل حمل ٤/٤ (الحمل الكامل)

$$L_{w1}\ \% = 10\ \%$$

$$R_1\ \% = \frac{\text{مفقودات الحمل Kw}}{\text{القدرة KVA}} \times 100$$

$$= \frac{70}{10000} \times 100$$

عند معامل حمل ٤/٢ (نصف الحمل)

$$L_{w1}\ \% = (10\%)\ 2/4\ = 5\ \%$$

$$R_1\ \% = \frac{\text{مفقودات الحمل Kw}}{\text{القدرة KVA}} \times 100 \times \frac{2}{4}$$

$$= 0.35\ \%$$

معادلة انخفاض الجهد (Δu)

$$\Delta u = (L_{w1}\ \%) \sin\phi + (R_1\%) \cos\phi + \frac{[(R_1\%) \sin\phi - (L_{w1}\ \%) \cos\phi\ ]^2}{200}$$

يتم حساب أقصى انخفاض جهد عند الحمل الكلى (٤/٤) ، جتا ϕ = ٠,٨ ، جا ϕ = ٠,٦ .

أقصى انخفاض جهد $= \Delta u_{max} = 6.85\ \%$

ويكون جهد الملف الثانوى عند حالة اللاحمل المقابلة لأقصى أنخفاض جهد عبارة عن .

$$\text{جهد الملف الثانوى} = U_2 = \frac{20\ KV}{100 - 6.85} \times 100 = 21.47\ KV$$

ثم يتم حساب أقل انخفاض جهد عند نصف الحمل (٢/٤) ، جتا ϕ= ٠,٩٥ ، جا ϕ= ٠,٣١

$$\text{أقل أنخفاض جهد} = \Delta u_{min} = 2\ \%$$

ويكون جهد الملف الثانوى عند حالة اللاحمل المقابلة لاقل انخفاض جهد عبارة عن :

$$\text{جهد الملف الثانوى} = U_2 = \frac{20\ KV}{100 - 2} \times 100 = 20.4\ KV$$

للحصول على حدود التغيير (التنظيم) فى الجهد بتطبيق العلاقة (٦-٢) يلزم حساب

λ_{av} , λ_{min} ,λ_{max}

$$\text{أقصى نسبة تحويل} = \lambda_{max} = \frac{60 \times 1.1}{20.4} = 3.235$$

$$\text{اقل نسبة تحويل} = \lambda_{min} = \frac{60 \times 0.9}{21.47} = 2.515$$

$$\text{متوسط نسبة تحويل} = \lambda_{av} = \frac{3.235 + 2.515}{2} = 2.875$$

$$\text{أقصى حدود لتنظيم الجهد} = \pm ١/٢ \left[\frac{\text{أقصى نسبة تحويل} - \text{اقل نسبة تحويل}}{\text{متوسط نسبة التحميل}}\right] \times ١٠٠$$

= $\pm$١٢,٥٢ ٪

وذلك بفرض أن المحول يعمل أساساً عند نسبة تحويل كمرجع Reference Ratio عبارة عن

$$\lambda_R = \frac{U_1}{U_{2max\ off\ Load}} = \frac{60}{21.47} = 2.795$$

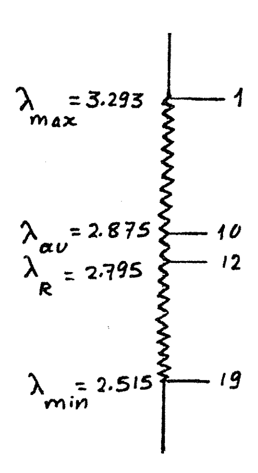
نجد أن هناك اختلافاً بين متوسط نسبة التحويل وبين نسبة التحويل كمرجع تساوى

$$2.875 - 2.795 = 0.08$$

وبفرض ان المحول مجهز بمغير خطوة (نقط تقسيم) يعمل عند حالة الحمل بعدد ١٩ خطوة ، اى ± ٩ خطوة حول الخطوة المتوسطة

طول الخطوة = (اقصى نسبة تحويل – متوسط نسبة التحويل) / ٩ = (٣,٢٣٥ – ٢,٨٧٥) / ٩ = ٠,٠٤

أى أن بعد وضع خطوة المرجع عن وضع خطوة المتوسط تمثل خطوتين طول كل خطوة منهما ٠,٠٤ .



دوائر التحكم فى تغيير الخطوة (حالة الحمل)

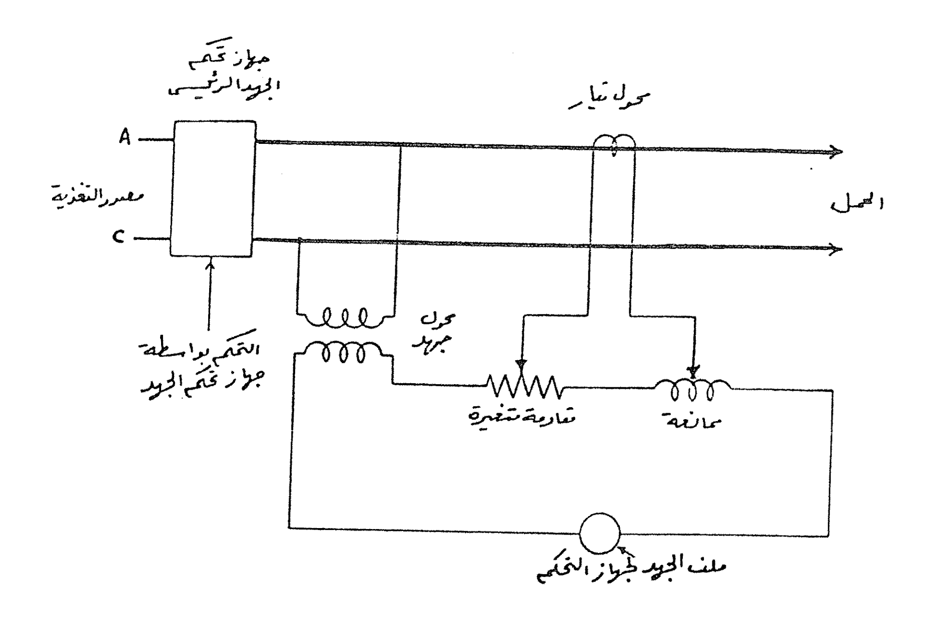
Control Of On-Load Tap Changers

حدث مؤخراً تقدم كبير جداً فى دوائر التحكم فى تغيير الخطوة مع وجود الحمل . تتم عملية تغيير الخطوة اساساً بدوائر ميكانيكية وأخرى كهربائية ، لاعطاء اشارة البداية للمحركات ـ التى يتم عن طريقها تغيير الخطوة ـ حيث يدور المحرك فى اتجاه معين " لرفع" الخطوة ، وعندما يدور فى الاتجاه المضاد يحدث " خفض " للخطوة .

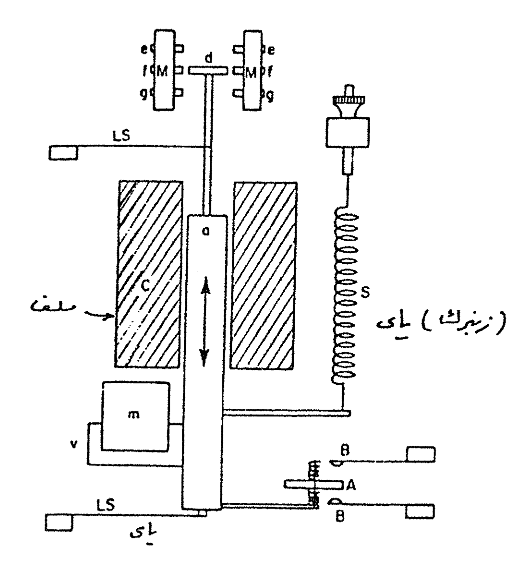
المحولات ذات القدرات الصغيرة يتم تغيير الخطوة بها يدوياً ، بينما يتم تغيير الخطوة فى المحولات ذات القدرات الكبيرة آلياً ، بالأضافة الى أنه يمكن تغيير الخطوة بها للتغلب على الحالات الطارئة .

حيث أن الغرض من مغيرات الجهد للمحولات هو الحفاظ على قيمة جهد المخرج مستقراً، عندما يتغير جهد المدخل نتيجة انخفاض الجهد ، بالاضافة الى تغيير عوامل النظام فانه للتحكم فى جهد المحول يحتاج الامر الى محول جهد *(Potential Transformer)* يوصل على جانب الجهد للتحكم فيه للمحول الرئيسى ، ويغذى مخرج محول الجهد ملف الجهد لجهاز تحكم ذى حساسية للتغيير فى الجهد ، يكون متصلاً بنقط تلامس بداية الحركة لمغير الجهد ، فى اتجاه الحركة المطلوب.عادة يزود جهاز التحكم بعنصر تأخير زمنى للتغلب على التشغيل غير المرغوب فيه أو حالة اقتناص *(Hunting)* لتغيير الجهد خلال حالة الموجه العابرة *(Transient)* يوضح شكل (٦٥-٢) الفكرة الاساسية لجهاز التحكم ذى الحساسية للتغير فى الجهد ، يتم توصيل محول الجهد بين الوجهين *A,C* ، ويوصل محول التيار على الوجه *A* ، كما يتم توصيل الملف الثانوى له على ممانعة ومقاومة متغيره .

يغذى ملف الجهد لجهاز التحكم بمحصلة فرق الجهد على المقاومة والممانعة مطروحاً منه جهد مخرج محول الجهد . الأساس فى الجهاز أن يصبح متزناً بصفة مستمرة ، أى أن قيمة فرق الجهد على المقاومة والممانعة تساوى قيمة جهد مخرج محول الجهد . أما فى حالة حدوث عدم اتزان بقيمة موجبة ، أى حين تكون قيمة التيار قد زادت ، وبالتالى اصبح فرق الجهد على المقاومة والممانعة أكبر من قيمة جهد مخرج محول الجهد ، فان الجهاز يعطى اشارة لرفع جهد الخط عند نهاية الطرف بقيمة مساوية لانخفاض معاوقة الخط . وعند حدوث عدم اتزان بقيمة سالبة يحدث العكس . غالباً يستخدم جهاز التحكم على الاوجه



شكل (٥٦ -٢) الدائرة الكهربائية لتعويض فقد الخط



شكل (٥٧ -٢) عنصر التحكم فى جهاز *AVE5*

الثلاثة .

يوجد نوعان من متممات تحكم الجهد آلياً (Automatic Voltage Relay) ويرمز لها (AVR) ، النوع الاول ، وهو النوع القديم ، أجهزة ميكانيكية كهربائية ذات غاطس متزن (Balanced Plunger Electro-Mechanical) ، والنوع الثانى ، وهو النوع الحديث ، متممات الجهد من المواد شبه الموصلة (Solid State Voltage Relay) فى النوع الاول ، لتعويض خفض الجهد ، يحتوى الجهاز على مقاومة متغيرة خارجية متصلة على التوالى ، وذلك لتنظيم عنصر الجهد ، تحتوى على ثلاثة قيم للضبط :

- التغير من ٩٠ ٪ الى ١١٠ ٪ من قيمة الجهد المضبوط عند حالة اللاحمل .
- حدود تغيير مستمر من صفر الى ١٥ ٪ لتعادل المقاومة .
- حدود تغيير من صفر الى ١٥ ٪ لتعادل الممانعة .

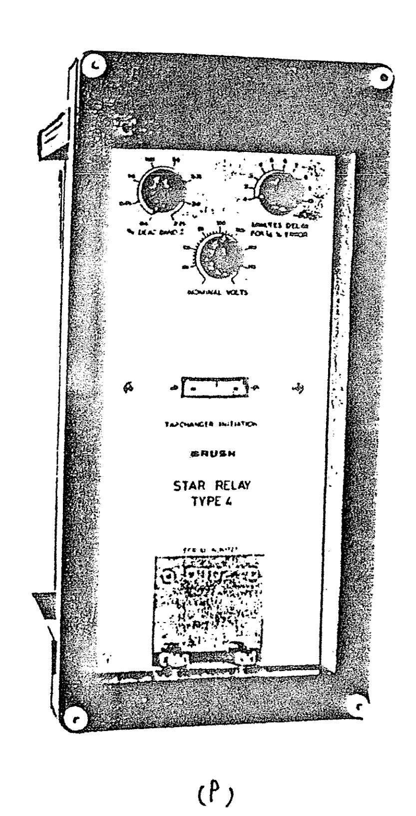
شكل (٥٧-٢) يوضح فكرة جهاز تحكم ذى غاطس متزن من طراز (AVE5) يتكون الجهاز من ملف (c) ذى قلب حديدى يتحرك على دليل بواسطة عدد ٢ زمبرك ورقى (Leaf Spring)(LS)، وزمبرك تحكم (s)،احد طرفيه مثبت مع القلب الحديدى المتحرك (a) والطرف الآخر مثبت على هيكل الجهاز ، حيث يضبط بعناية لحفظ اتزان وزن القلب (a)، ويكون فى نفس الوقت وضع القرص (d) عند علامة المنتصف (f) ، كذلك يتم حفظ نقطة التلامس (A) بين التلامسين (B) عند تسليط الجهد المقنن .

عند ارتفاع الجهد أو انخفاضه ، تقوم القوى المغناطيسية بتحريك القلب الحديدى الى أعلى أو الى اسفل ، وتتلامس النقطة (A) مع النقطة (B) الى أعلى أو الى أسفل ، يحتوى الجهاز على مخمد تيارات اعصارية (Eddy Current Damper)عبارة عن مغناطيس ثابت (M)، وتوجيه نحاس متحرك (v) لتقليل التذبذب .

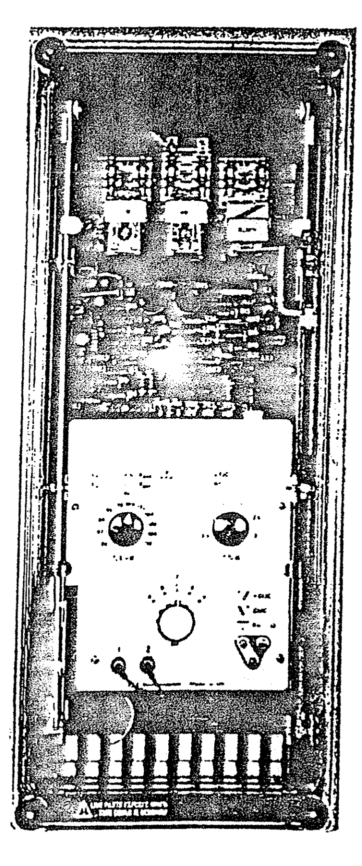
شكل (٥٨-٢) يوضح جهاز من أجهزة التحكم الحديث (Solid State Voltage Relay) وهى التى تحتوى على مواد شبه موصلة .

تحتوى المحولات على مبين خطوة لمغير الجهد كما فى شكل (٥٩-٢) أ .

كما تحتوى على عداد لتسجيل عدد مرات تشغيل مغير الجهد كما فى شكل (٥٩-٢) ب .

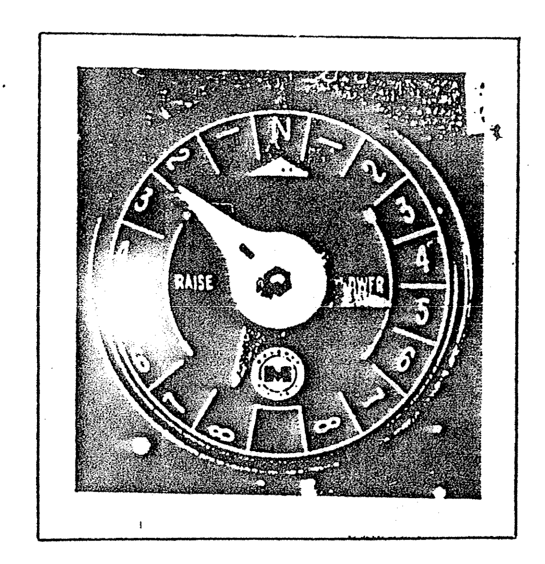


(أ)

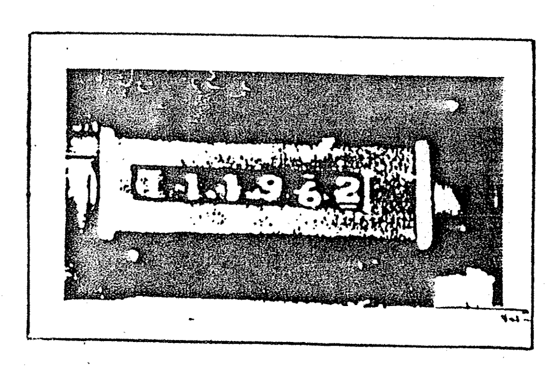


(ب)

شكل (٥٨ -٢)



(أ)



(ب)

شكل (٥٩ -٢)

٣ - ٢ مواد العزل السائلة *Insulating Liquid*

تشتمل مواد العزل السائلة المستعملة فى المعدات الكهربائية على

- الزيوت المعدنية السائلة مثل الزيوت البترولية وهى الاوسع انتشاراً
- المواد العازلة السائلة الاصطناعية مثل اسكاريل .

قبل مناقشة مميزات وعيوب وخصائص كل نوع سيتم تعريف بعض الخصائص الكهربائية للمواد العازلة :

١ - ظل زاوية مفقودات المادة العازلة (ظا δ) عبارة عن خاصية كهربائية مميزة يمكن بواسطتها تعيين مقدار فقد الطاقة (مفقودات العازل) بالمادة العازلة للكهرباء عند وقوعها تحت تأثير جهد متغير .

ويتم قياس ظل زاوية مفقودات العازل ظا δ باستخدام قنطرة تيار متردد .

٢ - المتانة الكهربائية للعزل *Dielectric Strength*

خاصية كهربائية مميزة يمكن عن طريقها معرفة قدرة المادة العازلة للكهرباء على مقاومة الانهيار تحت تأثير القوى الكهربائية .

وتعرف بالنسبة بين الجهد المسلط على المادة العازلة والتى يحدث عندها الانهيار ، مقاسة بالكيلوفولت ، مقسوماً على سمك المادة العازلة فى منطقة الانهيار ، مقاسة بالمليمتر .

وعلى ذلك تكون وحدة المقاومة الكهربائية كيلوفولت / مم .

٣ - الكثافة *Density*

كثافة المادة هى كتلة المادة منسوبة الى وحدة حجمها وتكون وحداتها جم / سم٣

٤ - اللزوجة *Viscosity*

تنقسم الى

- اللزوجة الديناميكية *Dynamic Viscosity*

وتعرف وحداتها

P = Poise

cP = Centipoise

$1\ cP = 10^{-3}\ Kg / ms$

- اللزوجة الكينمتيكية *Kinematic Viscosity*

(لزوجة / كثافة)

وتعرف وحداتها

St = Stokes ستوك

C St = Centistokes سنتى ستوك

$1\ C\ St = 10^{-6}\ m^2 / S$

وفيما يلى نستعرض بعض المواد العازلة السائلة المعدنية والاصطناعية .

الزيوت المعدنية

يتم الحصول على الزيوت المعدنية بوساطة التقطير الجزئى للبترول . حيث يعتمد التركيب الكيميائى لهذه الزيوت على تركيب البترول . ،وتعتبر جميع الزيوت البترولية مكونات ايدروكربونية ، أى مركبات للكربون والايدروچين ، يتم الحصول على الزيوت من البترول بتسخينه فى جو معين للتخلص من المركبات الخفيفة ، مثل البنزين والكيروسين ، ثم يتم فصل زيت السولار من الجزء المتبقى - المسمى بالمازوت - عند درجة حرارة اعلى من ٣٠٠م-ثم يعالج هذا الزيت بفصل المركبات الكيماوية غير الثابتة ، ويعرف عند هذا الحد بزيت العازل الكهربى . يتم غسيل هذا الزيت بماء مقطر دافىء ، ثم يترك بعض الوقت وتزال منه المركبات الغريبة.يجفف الزيت المغسول بالماء ثم ينقى من المواد غير الثابتة كيميائياً - ثم يتم ترشيح الزيت للحصول عليه فى صورته النهائية ،يضاف أحياناً إلى الزيت مادة مضادة للتأكسد لتحسين الخصائص الطبيعية الكيميائية له .

الخصائص العامة المرغوبة فى زيت المحولات هى :

- أن تكون المتانة الكهربائية لعزل الزيت عالية *(High Dielectric Strength)*

- لا يحتوى الزيت على أية أحماض ـ قلويات ـ مركبات كبريتية ، وذلك للتغلب على صدأ النحاس ، وحماية العازلات من الاضرار

- أن تكون اللزوجة منخفضة للسماح للزيت بعمليات التقليب (الدوران) السريع .

- أن تكون نقطة التجمد منخفضة ، للحفاظ على الزيت من التجمد فى الاجواء الباردة .

- مقاومة امتزاج *(Emulsion)* عالية ، للتغلب على تعلق المياه بالزيت ، حيث أن الزيت المحتوى على المياه تقل متانته الكهربائية .

- يجب ألا يحتوى الزيت على أية رواسب .

- أن تكون ظل زاوية مفقودات العازل منخفضة *(Low Loss Tangent)*

من امثلة الزيوت المعدنية زيوت شل ديلا *(Shell Diala Oil)* وله انواع كثيرة تتميز كل منها بخواص معينة من هذه الانواع :

- زيوت شل ديلا C و B
- زيوت شل ديلا BX
- زيوت شل ديلا D
- زيوت شل ديلا DX
- زيوت شل ديلا F

وفيما يلى عرض مبسط لهذه الانواع ، كل على حدة .

زيوت شل ديلا *(Shell Diala Oils)*

من الزيوت الطبيعية المعدنية التى تستخدم بالمحولات ومعدات الفصل والتوصيل الكهربائية والمكثفات .

من خصائص زيوت شل ديلا أنها منقاه بطريقة خاصة ، ذات لزوجة منخفضة ، ذات متانة كهربائية عالية ، ذات أكسدة عالية ، لها خصائص تحويل الحرارة .

تكون الخصائص المطلوبة لزيوت العزل موضوع اهتمام من المواصفات العالمية ، وقد صممت انواع من زيوت شل ديلا تتفق مع المواصفات العالمية القياسية .

زيوت شل ديلا B و C (Shell Diala Oils B & C)

تتفق مع المواصفات العالمية الآتية :

- IEC 296 (Class 1)
- SEV 3163 / 1972 (Class 1)
- VDE 0370 / 10.66 (except for viscosity)

زيوت شل ديلا BX (Shell Diala Oil BX)

لها نفس خصائص زيوت ديلا (B) الا أنها تحتوى على اضافات مضادة للأكسدة ـ وتتفق مع نفس المواصفات العالمية لديلا (B) .

زيوت شل ديلا D (Shell Diala Oil D)

تتفق مع المواصفات العالمية الآتية

- IEC 296 (Class 2)
- VDE 0370 / 10.66
- SEV 3163 / 1972 (Class 2)
- BS 148 / 1972

زيوت شل ديلا DX (Shell Diala Oil DX)

لها نفس خصائص زيوت ديلا (D) الا انها تحتوى على أضافات مضادة للأكسدة وتتفق مع نفس المواصفات العالمية لديلا (D)

زيوت شل ديلا F (Shell Diala F)

مصمم للاستخدام فى المحولات والمعدات الكهربائية :

- كعامل تبريد ، لامتصاص الحرارة القائمة من تحميل المحول .
- كعامل عزل ، لعزل المكونات العاملة عند ضغوط مختلفة .

مميزاته :

يمتلك نقطة انصباب *(Pour Point)* منخفضة ، ولزوجة عند درجات حرارة مختلفة تعطى سعة تبريد ، وضمان مقدرة الأداء عند درجات حرارة مختلفة .

يمتلك استقراراً كبيراً ومقاومة عالية للأكسدة لمقاومة الاحماض العضوية والترسيب الناشىء عن التفاعل مع الاكسچين فى الهواء ، عند درجات حرارة التشغيل ، وتأثيرات التآكل فى الحديد والنحاس .

المواصفات :

زيت ديلا *(F)* ، نقى جداً ، معالج ، له نقطة انصباب طبيعية منخفضة جداً تخضع للمواصفات القياسية الآتية

- *CEI PUBLICATION 296 , 1982*

  Class 1 & 2

- *UTE NFC 27 101 , 1982*

  Class 1 & 2

- *BS 148 , 1984*

  Class 1 & 2

اذا اتبعت تعليمات وتوصيات المنتجين فان زيوت شل ديلا *(F)* ليس لها مخاطر على الصحة .

يتم تخزين الزيوت فى وعاء يحتوى على نيتروچين طبيعى .

يعبـأ فى براميل صغيرة سعة ٥٠ كجم أو ١٨٠ كجم أو خزانات زجاجية مجهزة بهواء جاف .

خصائص الزيوت المعدنية للمحولات (طبقاً لشركات البترول)

	عند جهد ٣٠ك . ف.	عند جهد ٥٠ك . ف
١ – الثقل النوعى عند ١٥ / ٤° م (القيمة القصوى)	٠,٨٨٥	٠,٨٨
٢ – نقطة الوميض ، وعاء مغلق PM، درجة مئوية (أقل قيمة)	١٤٠	١٤٥
٣ – نقطة الاحتراق ، PM ، درجة مئوية (أقل قيمة)	١٥٠	١٥٥
٤ – نقطة الانصباب درجة مئوية (أقصى قيمة)	٣٠–	٥٠–
٥ – اللزوجة الكينماتيكية (سنتى ستوك Cst)		
عند ١٠٠ درجة فهرنهيت	١٥/٨	١٨/١٣
عند ٢١٠ درجة فهرنهيت (أقصى قيمة)	٤	٧
عند ٧٠ درجة فهرنهيت (أقصى قيمة)	–	٤٠
٦ – أختبار التآكل الكيماوى للكبريت	مقبول	مقبول
٧ – أختبار كونردسون للكربون (wt%) (أقصى قيمة)	٠,٠١	٠,٠١
٨ – الرماد الكلى (wt%) (أقصى قيمة)	٠,٠١	٠,٠١
٩ – قيمة التعادل (*mgm KOH/gram oil*) (أقصى قيمة)		
(ملى جرام هيدروكسيدبوتاسيوم / جرام زيت)	٠,٠٥	٠,٠٥
١٠ – الاحماض والقلويات الذائبة فى الماء (أقصى قيمة)	–	–
١١ – التآكل الكيماوى لخوصة نحاس عند ١٠٠° م		
لمدة ٣ ساعات (أقصى قيمة)	١	١
١٢–اختبار المواد العالقة بعد الاكسدة (wt%) (أقصى قيمة)	مقبول	مقبول
١٣ – أختبار التعادل بعد الأكسدة (wt%) (أقصى قيمة)		
(*mgm KOH/gram oil*)	مقبول	مقبول
١٤ – أجهاد العزل	٤٠	٦٠
١٥ – درجة اللزوجة طبقاً للمواصفات القياسية	١٠	١٠

PM = جهاز بنسكى مارتنز المغلق

خصائص الزيوت المعدنية للمحولات طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية
B.S. 148 : 1972

١- أقصى قيمة للمواد العالقة (*Sludge*)	٠,١٪
٢ – أقصى حموضة بعد عمليات الاكسدة (mg KOH/g)	٠,٤
٣ – أقل نقطة وميض (أناء مغلق) درجة مئوية	١٤٠
٤ – أقصى لزوجة عند – ١٥ْم (سنتى ستوك)	٨٠٠
٤ – أقصى لزوجة عند ٢٠ْم (سنتى ستوك)	٤٠٠
٦ – أقصى نقطة انصباب أو الانسكاب ْ م	–٣٠
٧ – أقل اجهاد كهربى للأنهيار (الزيوت الموردة فى زجاجات) (ك.ف)	٣٠
الزيوت المرسلة فى براميل انجليزية (ك.ف)	٢٧
الزيوت المرسلة عن طريق البحر فى براميل	لم تحدد القيمة
٨ – أقصى قيمة للحموضة (القيمة الطبيعية) (mg KOH / g)	,٠٣
٩ – تاكل كيماوى للكبريت	لا يوجد
١٠ – أقصى قطرات مياه (الزيوت الموردة فى زجاجات) جزء من مليون	٣٥
الزيوت المرسلة فى براميل انجليزية – جزء من مليون	٥٠
الزيوت المرسلة عن طريق البحر فى براميل	لم تحدد
١١ – أقصى كثافة عند ٢٠ ْ م (جرام / سم٣)	,٨٩٥
١٢ – أقصى ظل زاوية مفقودات العزل عند ٩٠ ْ م	٠,٠٠٥
١٣ – المقاومة	لم تحدد

الخواص الطبيعية والكيميائية والكهربائية للزيوت العازلة للمحولات طبقاً للمواصفات القياسية المصرية رقم ٥٤٧ - ١٩٨٥

الخواص الطبيعية :

الخاصية	القيمة
- الكثافة عند ٢٠° م جرام / سم ٣ (حد اقصى)	٠,٨٩٥
- درجة الوميض بجهاز بنسكى مارتنز المغلق° م (حد أدنى)	١٤٠
- اللزوجة الكينماتيكية سنتى ستوكس عند - ١٥° م (حد أقصى)	٨٠٠
عند ٢٠° م (حد أقصى)	٤٠
- درجة حرارة الانصباب مْ (حد أقصى)	-٣٠

الخواص الكيميائية

الخاصية	القيمة
- الحموضة المعدنية غير العضوية ملجرام بوأيد / جرام زيت (حد اقصى)	خال
- الحموضة الكلية ملجرام بو أيد(بو أ يد هو رمز هيدروكسيد بوتاسيوم)/ جرام زيت (حد أقصى)	٠,٠٣
- محتوى الماء جزء فى المليون (حد أقصى) زيت (صب)	٣٥
زيت(براميل)	٥٠
- الكبريت المحدث للتاكل	لا يسبب تاكل
- أختيار الاكسدة	
نسبة الجلخ بعد الاكسدة ٪ بالوزن (حد أقصى)	٠,١
الحموضة بعد الأكسدة ملجرام بوأيد / جرام زيت (حد أقصى)	٠,٤

الخواص الكهربائية

الخاصية	القيمة
- قوة العزل الكهربى كيلوڤولت/سم (حد ادنى) للزيت غير المعالج : زيت صب	٣٠
: زيت براميل	٢٧
- عامل الفقد فى العزل الكهربى عند ٩٠° م (حد أقصى)	٠,٠٠٥

الخواص العامة للزيت

يكون الزيت رائقاً متجانساً وخالياً من المواد والرواسب والشوائب الميكانيكية والمواد العالقة .

التعبئة :

يورد الزيت فى عبوات جديدة ونظيفة تماماً ، ويراعى اثناء التعبئة ان تكون درجة حرارة الزيت أعلى من درجة حرارة الجو لتحاشى تكثيف الرطوبة الموجودة فى الهواء أثناء التعبئة.

تغلق العبوات بعد التعبئة بإحكام لتحاشى تسرب الرطوبة الى الزيت أثناء الشحن والتخزين .

المراجع الاساسية للزيوت

١ - المواصفات	*IEC 296 Class 1*
٢ - العينات	*IEC 475*
فى حالة الاحتياج الى تحليل الغازات الذائبة	*IEC 567*
٣ - طرق الاختبار	
- كسر أجهاد العزل	*IEC 156*
- الكثافة	*IEC 296 Amendment No. 1*
- اللزوجة الحركية	*ASTM D 445 - 65*
- نقط الوميض	*ASTM D 93 - 66*
- نقطة الانصباب	*ASTM D 97- 66*
- قيمة تعادل الحموضة	*IEC 296*
- تاكل الكبريت	*ASTM D 1275 - 67*
- التوتر السطحى البينى	*ASTM D 971 - 50*
- الرطوبة	*ISO R 760*
- الغازات الذائبة	*IEC 567*
٤ - الصيانة	*IEC 422*

٥ - جميع المعدات الكهربائية مقنن الملفات عند U_m أكبر من أو يساوى ١٢٣ ك . ف يجب

ملئها على فراغ (*Under Vacuum*).

٦-

	اول ملء	فى الخدمة
كسر اجهاد العزل U_m اكبر من ١٧٠ ك . ف.	أكبر من أو يساوى ٧٠	أكبر من أو يساوى ٥٠
U_m اقل من او يساوى ١٧٠ ك . ف.	أكبر من أو يساوى ٥٠	أكبر من أو يساوى ٤٠
– الرطوبة (ppm)	أقل من أو تساوى ١٠	أقل من أو تساوى ٢٠
– الغازات الذائبة %	أقل من أو تساوى ٣	أقل من أو تساوى ٨
– الحموضة mg KOH / g oil	أقل من أو تساوى ٠,٠٣	أقل من أو تساوى ٠,٣

ppm = جزء من مليون

السوائل العازلة المصنعة البديلة *Synthetic Liquid*

هناك بعض الحالات التى لايمكن استخدام الزيت المعدنى فيها ، كعازل ومبرد للمحولات. فى أوائل عام ١٩٣٠ تم استخدام السائل المسمى " اسكاريل ، " وهو مصنع من بولى كلور بيفنيل (*Polychlorobiphenyls*) ، والذى يرمز له بالرمز (*PCB*) ، ولكن نشأت بعد القيود لاستخدامه فى المحولات ، وذلك نتيجة مخاطره على البيئة ، ولذلك حظرت بعض الدول أستخدام هذا السائل المصنع " اسكاريل "

من السوائل العازلة البديلة ، سوائل السيليكون (*Silicon Liquids*) ، وسائل استر (*Synthetic Ester Fluid*) ، التى أصبحت شائعة الاستخدام حالياً والتى من خصائصها :

- نقطة وميض عالية
- توصيل حرارى جيد
- انخفاض اللزوجة عند درجات الحرارة العالية .

المحولات التى تستخدم هذه البدائل تصمم بنفس طريقة المحولات التى تستخدم الزيت المعدنى أو سائل اسكاريل مع تعديل بسيط جداً ، حيث أن هذه المحولات تمتاز بأنها أخف وأصغر من المحولات الاخرى . وفيما يلى عرض لبعض انواع السوائل العازلة المصنعة البديلة .

السائل المصنّع " اسكاريل" *(Askarel)*

لتبريد المحولات (سبتمبر - اكتوبر ١٩٦٦)

من عيوب استخدام الزيت الطبيعى لتبريد المحولات أنه ذو قابلية للاشتعال ويساعد على امتداد وأنتشار اللهب . للتغلب على هذا العيب ، هناك مجموعة من السوائل المصنعة ، المعرفة تحت بند التجميع *(Askarel)* ، التى من خصائصها انها تصمد للنيران . هناك أسماء تجارية لهذا السائل منها *Pyranol, Pyroclor, Clophen*

الخصائص الطبيعية للسائل المصنّع :

١ - اللون	نقى - بدون لون
٢ - نقطة الاحتراق فى بوتقة مفتوحة	لاتوجد نقطة احتراق حتى درجة الغليان
٣ - الثقل النوعى عند ١٥° م جرام / سم٣	١,٥٦٥
٤ - معامل التمدد الحرارى	,٠٠٠٧
٥ - الحرارة النوعية عند ٢٠° م	
كالورى / جرام درجة حرارة ($\frac{Cal}{gm\ ^{O}C}$)	٠,٢٥٥
٦ - اجهاد العزل ٢٠ / ١٠٠° م	
ك . ف / سم ($\frac{Kv}{cm}$)	حوالى ٢٠٠
٧ - المقاومة النوعية عند	
٩٠° م (أوم . سم)	٥×١٠^{١٢}
٨ - اللزوجة (سنتى ستوك)	٣٠
٩ - ثابت العزل عند ١٠٠° م	٣,٩

نتيجة ارتفاع اجهاد العزل والخصائص الاخرى للسائل المصنّع ، فانه يستخدم بتوسع كعازل ووسط مبرد بالمعدات الكهربائية .

يقل اجهاد العزل عند وجود قليل من الشوائب والرطوبة ، لهذا السبب يجب عدم إضافة اية زيوت طبيعية للاسكاريل .

السوائل المصنعة ذات مقاومة عالية للاحماض ، ولترسيب الاوساخ أكبر من الزيوت الطبيعية ، وتبعاً لذلك يكون عمر اسكاريل أطول من عمر الزيوت الطبيعية .

خزان المحولات يكون محكم الغلق ، يجب ان يؤخذ فى الاعتبار تمدد السائل داخل الخزان عن طريق تجهيز مخدة هوائية بالخزان الاحتياطى . يجهز بصمام تصريف الضغط للامان ضد انتشار الضغط بالداخل .

من فوائد استعمال السائل المصنع " اسكاريل " لملء المحولات ، أنه يسمح بالاستغناء عن أجهزة وقاية الحريق وأجهزة الكشف عن الحريق وأجهزة التحكم الآلى للحريق .

يفضل استخدام المحولات المملوءة بالسائل المصنع فى الأماكن الآتية :

- المناجم تحت الأرض .
- المسارح ، السينما
- فى صناعة المعادن
- الأنفاق
- الاماكن ذات المخاطر العالية مثل معامل التكرير .

صيانة السوائل الصناعية المستخدمة فى ملء المحولات " اسكاريل " :

يجب ملاحظة مستوى السائل فى زجاجة البيان ، كذلك ملاحظة عدم تسريب السائل . من المرغوب الحفاظ بمرشح منفصل وألواح جافة لكل محول ــ درجة الحرارة خلال عمليات الترشيح يجب الا تزيد عن ٥٠° م .

ملحوظة هامة :

عند المعاملة مع السائل الصناعى يجب مراعاة الآتية :

١ - يجب عدم ملامسة الجلد للسائل .

٢ - يجب حماية اليد باستخدام دهان جلسرين أو استخدام قفاز مقاوم للزيت .

٣ – اذا تلامس الجلد بالسائل يجب غسله مباشرة بالماء والصابون .

٤ – اذا جاء السائل على العين يجب رشها فوراً بكمية كبيرة من الماء .

٥ – اذا تم استخدام السائل فى مكان مغلق – يجب أن تكون التهوية كافية ، او أن يلبس جهاز تنفس صناعى .

سائل السيليكون المصنّع *Silicone Liquid*

عبارة عن منتج من سبائك قاعدتها المغنسيوم " دو" *(Dow Corning Product)* وهو من المواد المصنعة والمعروفة باسم " بولى ديميثيل سيلوكسان " (Polydimethylsiloxane) ، وهى ذات استقرار حرارى وخمول كيماوى.له استخدامات عملية شائعة ونتائج ممتازة على الصحة خلال الثلاثين عاماً الماضية ، حيث استخدم فى المواد الطبيبـة ومواد التجميل وما شابه ذلك .وفى الاونة الأخيرة سجلت بعض التحذيرات لأضراره على الصحة العامة .

سائل السيليكون له نقطة وميض عالية جداً . وهو لا يشتعل تحت درجة ٣٥٠° م إذا قربت شعلة من السطح ، اذا أجبر على الاشتعال ، تحت ظروف خارجية ، ينشأ عنه حرارة صغيرة جداً جداً بالمقارنة بالسوائل العضوية ، ومن خصائصة عمل طبقة من السيليكون تمنع الهواء عن السطح .

يستخدم السائل السيليكونى بمحولات التوزيع بكميات كبيرة جداً ، بحيث يربو عدد هذه المحولات على الآلاف . وهو شائع الاستخدام فى اوروبا لمحولات ذات القدرة من ٢٥٠ ك . ف . أ وحتى ٣ م . ف. أ للجهود من ١١ ك . ف الى ١٥ ك . ف ، والمحولات حتى ٩ م . ف .أ لجهد ٦٦ ك . ف .

سائل استر المصنّع *Synthetic Ester Fluid*

يستخدم سائل استر المصنع فى محولات الجهد العالى كعازل وكذلك بخزان مغير الجهد .

سائل المحولات *(Midel)* المستخدم فى المملكة المتحدة يستعمل ميكانيت (عازل كهربى) وسائل استر كعازل له نقطة وميض عالية جداً ٣١٠° م ، واشتعال ذاتى (Auto-Ignition) عند درجة ٤٢٥° م .

سائل استر *(Midel 7131)* يصنع من مركبات كثيرة من أصل نباتى ، وهو معالج بحيث تكون درجة سُميته منخفضة جداً ، وفى حالات معينة تكون درجة السمية لسائل استر أقل بدرجة كبيرة عن الزيت البترولى المعالج .

جدول (١-٢)

مقارنة بين خصائص السوائل العازلة للمحولات

الخاصيــــــــــة	زيت معـــدنى	اسكاريـــل	سائل السيليكون	سائل استر 7131
- اللزوجة ، ٢٥° م ، سنتى ستوك	١٦	١٥	٥٠	١٠٠
- الكثافة ، g/ml	٠,٨٨	١,٥	٠,٩٦	٠,٩٨
- معامل التمدد الحرارى / درجة مئوية	٠,٠٠٠٧	٠,٠٠٠٧	,٠٠١٠٤	,٠٠٠٧٥
- نقطة الانصباب. درجة مئوية	-٤٥	-٤٥	-٥٥	-٥٠
- معامل التوصيل الحرارى Cal / g S °C	٠,٠٠٠٣٢	٠,٠٠٠٢٨	٠,٠٠٠٣٦	٠,٠٠٠٣٧
- نقطة الوميض ، درجة مئوية ، وعاء مفتوح	١٥٠	١٩٥	٣٠٠	٢٥٧
- نقطة الحريق، درجة مئوية ، وعاء مفتوح	١٦٥	-	٣٦٠	٣١٠
- معامل المقاومة الحجمية (المقاومة النوعية) ، أوم . سم٢ / سم عند ٢٥° م	١×١٠^{-٤}	١×١٠^{-١٢}	١×١٠^{-١٥}	١×١٠^{-١٣}
- معامل مفقودات العازل عند ٢٥° م ، ٥٠ هرتز	٠,٠٠٠٥	٠,٠٠٠٥	٠,٠٠٠٠٢	٠,٠٠١
- السماحية عند ٢٥°م ، ٥٠ هرتز .	٢,٢	٤,٥	٢,٧	٣,٢

الخصائص الفيزيائية لزيت المحولات

الخصائص الفيزيائية لزيت المحولات عبارة عن :

اللزوجة ـ نقطة الوميض ـ الكثافة ـ نقطة الانصباب ، سنذكر فيما يلى موجز عن كل خاصية

١ – اللزوجة *Viscosity*

من مميزات جميع السوائل أن جزيئاتها تتمتع بقدرة كبيرة على الحركة بالمقارنة مع جزئيات المواد الصلبة . وكلما ارتفعت درجة حرارة السائل كلما زادت قدرة جزيئاته على الحركة . وتستخدم اللزوجة لتقييم هذه الخاصية . فعند استخدام الزيوت المعدنية مع المواد العازلة الجامدة ، فان الزيت يملأ مختلف المسام فى هذه المواد ، نظراً لارتفاع قدرة جزئيات الزيت على الحركة. فالزيوت المعدنية تشبع المواد الكهربائية العازلة ذات المسام مثل الورق والكرتون بكفاءة ، وحيث أن الزيوت المعدنية عبارة عن مواد جيدة العزل فانها تؤدى بعد نفاذها الى داخل مسام هذه المواد الكهربائية الى تحسين خصائصها الكهربائية ، على سبيل المثال ترتفع قيمة قوة العزل الكهربائية (*Dielectric Strength*) بصورة ملحوظة .

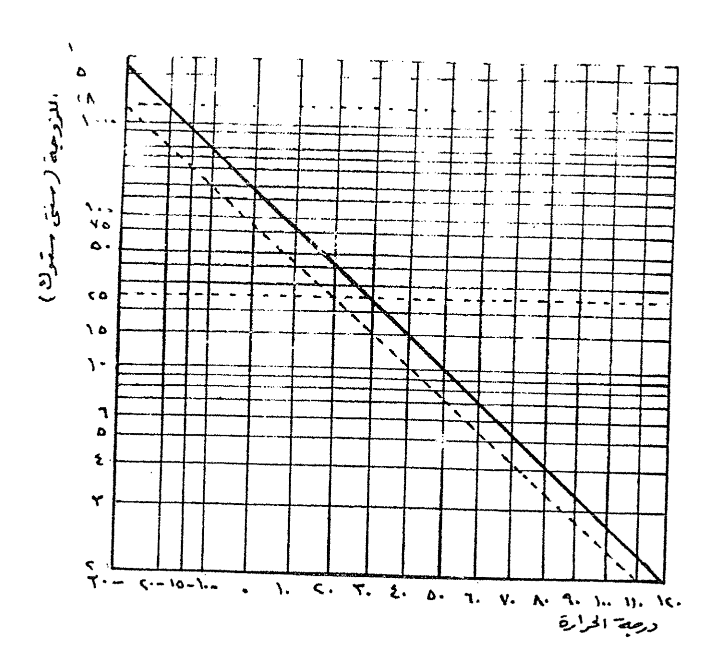
ينشأ عن تحميل المحولات تولد حرارة بالملفات تنتقل ، بالتأثير الحرارى ، خلال المواد العازلة الى الزيت ، حيث تتغير لزوجته نتيجة تغيير درجة الحرارة ، فعند ارتفاع درجة الحرارة تنخفض لزوجة الزيت ، بمعدل يعتمد على طبيعة الزيت الكيميائية ، شكلى (٦٠ –٢) ، (٦١ –٢) يوضحا العلاقة بين درجة الحرارة واللزوجة .

إن الارتفاع الزائد فى اللزوجة عند درجات الحرارة المنخفضة لا يحقق التبريد المناسب للمحول . لذلك تنص المواصفات القياسية على حدود درجات الحرارة المقابلة لأقصى لزوجة لزيت المحولات . فمثلاً المواصفات القياسية البريطانية تنص على أن حدود درجات الحرارة للزوجة بين – ١٥° م ، ٢٠° م .

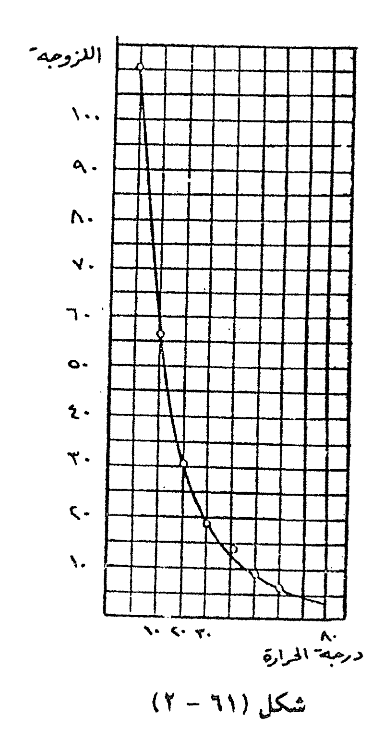
تقاس لزوجة الزيت باستخدام انبوبة زجاجية خاصة بمقياس اللزوجة ، وهى انبوبة قياسية ، تستخدم مقياس سنتى ستوكس (*Cst*) ، وتعطى قيمة مطلقة للزوجة بتجهيزها عند درجة حرارة – ١٥° م ، ٢٠° م .

٢ – نقطة الوميض *Closed Flash Point*

تعرف بأنها أقل درجة حرارة يحدث عندها اشتعال لعينة زيت داخل جهاز اختبار .



شكل (٦٠ - ٢)



شكل (٦١ - ٢)

يجب ألا تتعدى نقطة الوميض قيمة محددة ، وذلك للتغلب على الفقد الزائد فى الزيت ، نتيجة عملية التبخر ، فى دورة التنفيس الطبيعية للمحول . اذا قل حجم الزيت ، يمكن أن يصل الى درجة يصبح عندها قلب المحول والملفات غير مغطاه بالزيت ، فان التبريد سيقل وتخضع المواد العازلة الصلبة لدرجات حرارة زائدة وينتج عن ذلك حدوث قصف للملفات واحتمال حدوث تفتت .

وعلى ذلك فان درجة حرارة الزيت أثناء تحميل المحول يجب أن تكون أقل بكثير من نقطة الوميض المسموح بها لزيت المحول ، واذا تغيرت نقطة الوميض فان هذا يشير إلى وجود تلوث فى الزيت ، نتيجة المواد المتطايره الموجودة بكميات صغيرة ، ويمكن أن يؤدى ذلك الى حدوث مخاطر اذا تركزت أبخرة مواد قابلة للاشتعال فوق سطح الزيت . هذا ، ويمكن أن يحدث التلوث فى الزيت عند نقل عينة لاغراض الكشف أو عند استخدام براميل غير نظيفة .

من العوامل المسببة لانخفاض نقطة الوميض للزيت (حين يكون الاناء مغلقاً) حدوث بعض أنواع الاعطال الكهربائية ، التى تؤدى الى تعدى جهد الانهيار فى الزيت ، حيث ينشأ عن ذلك هيدروكربونات ذات جزئيات صغيرة متطايرة أو غازات قابلة للأشتعال ، وهى التى تذوب فى الزيت ، يفضل أن يتم تسجيل قيمة أولية لنقطة الوميض للزيت ، فى أثناء أختبارات التسليم ، واعتبارها مرجعاً أو اساساً للمقارنة عند عمل أى أختبارات بعد ذلك لنفس زيت المحول .

تقاس نقطة الوميض – فى اناء مغلق – باستخدم جهاز بنسكى مارتن *(Pensky-Martens Apparatus)*، وهو يعطى دلالة لدرجة حرارة اشتعال بخار الزيت فى حدود مسافة ضيقة تحتوى على هواء ، وبتقريب شعلة أو مصدر آخر للاشتعال ، مثل قوس أو شرارة .

٣ – الكثافة *Density*

تعرف الكثافة بأنها الكتلة منسوبة الى وحدة الحجم (سم٣) .

وتختلف الكثافة من مادة إلى أخرى وتكون وحدتها جم / سم٣

يجب أن تنص المواصفات القياسية على حدود كثافة الزيت عند درجة حرارة معينة . عندما تكون الكثافة العالية عند درجات الحرارة المنخفضة يحدث تجمد للزيت عند السطح . أقصى قيمة للكثافة ٠,٨٩٥ جم / سم٣ عند ٢٠° م .

٤ – نقطة الانصباب *Pour Point*

تعرف بأنها أقل درجة حرارة يمر عندها التيار تحت ظروف الضغوط المختلفة . وتعطى دلالة لأقل درجة حرارة محيطة يمكن أن يملأ عندها المحول بالزيت ليعمل بأمان . القيمة القياسية المناسبة لنقطة الانصباب هى – ٣٠° م .

جدول يوضح بعض خصائص زيت المحولات غير المستخدم مسبقاً

أقصى لزوجة سنتى ستوكس		درجة حرارة اشتعال الأبخرة (لا تقل عن)	درجة حرارة التجمد (لاتزيد عن)
٢٠° م	٥٠° م		
٣٠	٩,٦	١٣٥	– ٤٥

الخصائص الكيميائية لزيت المحولات

لتحديد الخصائص الكيميائية لزيت المحولات يتم عمل الاختبارات الآتية :

– اختبارات بعد عمليات الأكسدة لتحديد المواد العالقة *(Sludge)* وانتشار الحموضة *(Acidity)*، وذلك للتأكد من خلو الزيت من المواد غير المرغوب فيها ، اى اختبارات لتحديد قيمة الحموضة (نقطة التعادل) ، تآكل الكبريت *(Corrosive Sulphur)* أو النحاس ، تلوث الزيت .

– اختبارات أحتواء الزيت على قطرات مياه .

بتأكسد الزيت ، ويتم هذا التأكسد بأكسچين الجو ، ونتيجة ارتفاع درجات حرارة تشغيل المحولات فإن معدل التأكسد يزداد بسرعة ، كذلك تزداد سرعة التأكسد نتيجة لتأثير المواد المعدنية مثل النحاس الأحمر والأصفر والحديد والمعان الأخرى .

يتم أختيار الأكسدة بوضع عينة من الزيت (٢٥ جرام) فى وجود معدن النحاس ، عند درجة حرارة ١٠٠° م ، يتم نفخ أكسچين على العينة لمدة ١٦٤ ساعة ، ثم يبرد الزيت فى

مكان مظلم لمدة ساعة ، ويخفف بمادة هبتين عادية *(Heptane)* لمدة ٢٤ ساعة ، خلال هذا الزمن فان ناتج الاكسدة العالية ترسب مواد عالقة ، تفصل وتوزن . المحلول المتبقى من الزيت المؤكسد لعدد *(n)* هبتين يستخدم لقياس الحموضه الناتجة . إذا تساوت قيمتين متتاليتين فان ذلك يعنى استقرار الاكسدة فى الزيت .

يتحقق التبريد الجيد للمحولات اذا كان الزيت له استقرار أكسدة وبالتالى فان اللزوجة لاتتغير خلال سنين تشغيل المحول المتوقعة ، ولا يحتوى الزيت على مواد عالقة .

تشكل المواد العالقة يقلل من كفاءة تبريد المحول ، فاذا ترسبت المواد العالقة على المواد العازلة ، فان ذلك يعوق تصريف الحرارة المولدة بالمحول ، ويمكن أن يحدث ترسيب للمواد العالقة على مواسير الزيت داخل المحول ، والخاصة بتبريد الملفات ، وعلى ذلك فان معدل دوران الزيت للأسطح الساخنة يقل ، وإلى جانب ذلك يمكن أن تتجمع المواد العالقة فى وحدات التبريد مسببة تأخير تبريد الأسطح بالإضافة الى انخفاض الكفاءة نتيجة معدل دوران الزيت فى المحول ككل . والنتيجة النهائية ارتفاع درجة حرارة تشغيل المحول .

امكن انتاج زيوت مضادة للأكسدة وبالتالى لاتحتوى على مواد عالقة *(Non-Sludging Oil)* طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية *(Class A, B.S. 148.)* يجب أجراء اختبارات دورية على الزيت للتأكد من استقرار الأكسدة .

ومن المعروف أنه بالاضافة الى تشكل الأجسام الحمضية فى الزيت فانه تتشكل أشياء أخرى مثل بروكسيد *(Peroxides)* (أكسيد يحتوى على نسبة عالية من الاكسچين) ، الايديهيد *(Aldehydes)*. الكيتون *(Ketones)* مركب عضوى ، تتشكل هذه الاشياء مع بعضها ومع الماء واوكسيد الكربون مكونة مواد صلبة متمثلة فى المواد العالقة . وجود الحموضة فى الزيت يتسبب فى حدوث تآكل فى بعض خزانات المحولات وبغلاف الخزان ولذلك يجب الاهتمام بالكشف عن الحموضة فى الزيت وعلاجه .

لا يحدث التآكل فى الجزء أسفل سطح الزيت ، ولكن يحدث فى غلاف الخزان للجزء أعلى من سطح الزيت ، الغير مغطى بالزيت ، ولذلك تحدث مشاكل بمحولات التوزيع التى لا تحتوى على خزان أحتياطى وبالتالى يتعرض الجزء الأعلى من سطح الزيت لعمليات التآكل. يكون تأثير التآكل خطير جداً اذا حدث تساقط للرقائق الصغيرة ، من الخزان المتآكل ، على القلب والملفات ، مسببة أنواع أعطال مختلفة ، ومسببة أيضاً عدم تصريف الحرارة ، المولدة

بالمحول .الاختبارات الدورية العادية لزيت المحولات لايكشف عن هذا العيب بعمل أختبار للحموضة يجب أن تكون قيمته بين ٢ إلى ١٠ (mg koh /g) واذا تم التأكد من وجود ثقب بغلاف الخزان نتيجة الصدأ فانه يتم دهان هذا الجزء بنوع مضاد للصدأ أو حمايته بطريقة أخرى .

وبسبب الاهتمام بعلاج حموضة الزيت ، الى تسبب تشكيل وتكوين المواد العالقة بالزيت فانه تم انتاج زيوت معالجة ضد الحموضة ، وهى تحتوى على نسبة منخفضة جداً من الحموضة ، وبالتالى يمكن ألا تتشكل مواد عالقة بالزيت .

وجد عملياً أن نتائج الاختبارات يمكن أن تعطى نسبة حموضة عالية ، ولكن لا تكون مصاحبة بحدوث تآكل . مع ملاحظة وجود مواد عالقة يمكن أن تكون ناتجة عن اتحاد حالات مختلفة .

المواصفات القياسية البريطانية BS 148 : 1972 نصت على أقل قيمة للحموضة وهى ٠,٠٣ (mg koh /g) وكذلك نصت على أقل نسبة للمواد العالقة بالزيت. يمكن التخلص من الحموضة الموجودة بالزيت نهائياً ، أو تقليل نسبتها بقدر الامكان عن طريق عمل تكرير للزيت .

المواد الحمضية يمكن أن تكون أحد أنواع أحماض النفتالين (Naphtheni Acids) الموجودة طبيعياً فى زيت البترول غير المكرر ، والتى تنتج أحماضاً عضوية من عمليات انهيار الأكسدة فى الزيت .

الطريقة المستخدمة لتقدير درجة الحموضة فى الزيت تكون بإيجاد حجم مناسب لمحلول قلوى ، عادة يكون بوتاسا كاوية (Caustic Potash) يرمز له KOH (البوتاسا عبارة عن كربونات أو أيدروكسيد البوتاسيوم) ، يمكن الحصول به على نقطة التعادل ، ويكون التعبير المناسب للحصول على درجة الحموضة عبارة عن وزن مللى جرام بوتاسا كاوية مطلوبة لكل جرام زيت .

عملياً المعايرة بالتحليل الحجمى لنقطة التعادل تتم فى وجود محلول مناسب لاحماض عضوية ، وتكون نقطة التعادل هى النقطة التى يتغير عندها اللون ويتحول الى قلوى نتيجة اضافة مادة كاشفة .

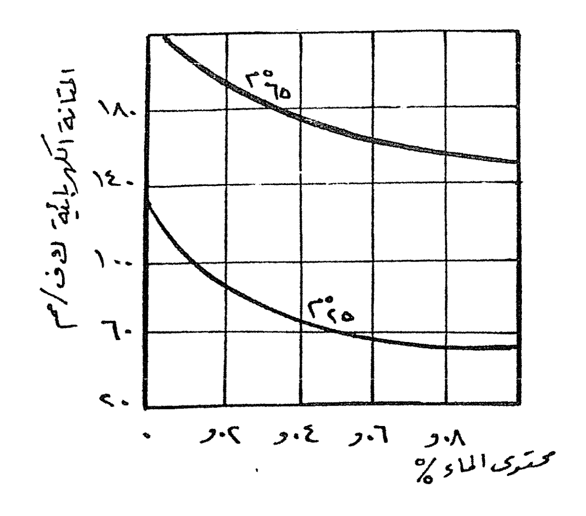
لاختبار تآكل الكبريت (طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية (BS 148 : 1972) يتم

غمس شريط من النحاس اللامع فى الزيت ، عند درجة حرارة ١٤٠° م وفى وجود النتروچين وذلك لمدة ١٩ ساعة . بعد ذلك يتم الكشف عن شريط النحاس ، اذا كان الشريط أو جزء منه أصبح لونه رمادياً غامقاً أو بنياً أوأسوداً فان الزيت فى هذه الحالة لا يكون مناسباً ، ويدل ذلك على احتواء الزيت على مادة الكبريت .

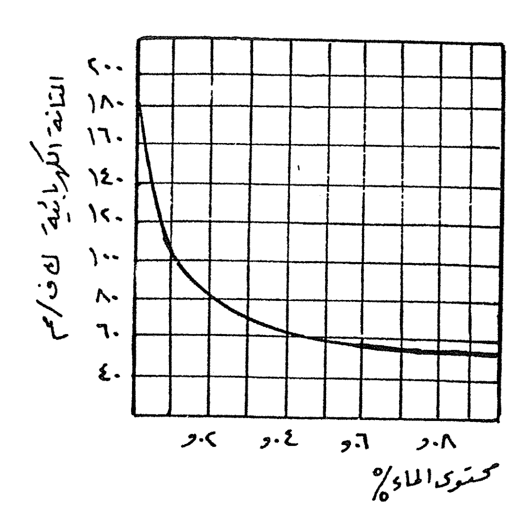
تنص المواصفات القياسية البريطانية *Bs 148* على أن يكون الزيت نقياً ونظيفاً ولا يحتوى على أية شوائب أو مياه أو محتويات أخرى ، وذلك لان خصائص الزيوت تحت تأثير الشوائب وظروف التشغيل ، تتغير فيلاحظ أن قوة العزل الكهربائية للزيت تنخفض نتيجة لاحتواء الزيت على المياه ، وعلى الشوائب الصلبة الأخرى . حيث أن المياه التى تصل إلى الزيت تذوب فيه بكميات كبيرة (تعرف بالمياه الجزئيية) وعند انخفاض درجة الحرارة تنفصل هذه المياه الذائبة فى الزيت على هيئة قطرات صغيرة جداً (هذا ما يطلق عليه مستحلب مائى *(Emulsion)* تنتشر داخل كل حجم الزيت.تتأثر قوة العزل الكهربائية للزيت بصورة ملحوظة نتيجة المستحلب المائى ، فى حين لا تؤثر المياه الجزيئية تأثيراً كبيراً على قوة العزل الكهربائية للزيت .

كذلك تتأثر قوة العزل الكهربائية بدرجات الحرارة – شكل (٦٢-٢) يوضح العلاقة بين قوة العزل الكهربائية للزيت (كيلو ڤولت / مم) ومحتوى المياه به عند درجتى حرارة ٢٥ °م ، ٦٥ °م ، ويلاحظ أن قوة العزل الكهربائية ترتفع عند درجات الحرارة العالية على الرغم من أن الزيت يحتوى على مياه ، ولكنها تكون فى هذه الحالة مياه جزيئية .

أما ارتفاع درجة حرارة الزيت الجاف فتؤدى الى انخفاض قوة العـزل الكهربائيـة للزيت . تنص المواصفات القياسية البريطانية *BS 2511* على كيفية اختبار وجود المياه بالزيت (طريقة كارل فيشر *(Karl Fisher method*) ولكن لم تنص على القيمة التقريبية لوجود المياه بالزيت ، هذا ، ويمكن اختبار وجود المياه بالزيت باختبار الطقطقة *(crackle test)* ، وذلك بسماع الطقطقة عن طريق تمدد لحظى للبخار نتيجة تسخين سريع جدا فوق درجة الغليان .



شكل (٦٢ – ٢) العلاقة بين المتانة الكهربية ومحتوى الماء للزيت
عند درجات حرارة مختلفة



شكل (٦٣ – ٢) العلاقة بين المتانة الكهربية للزيت ومحتوى الماء عند ٢٥° م

تفسير تحليل الغازات الذائبة فى زيت المحول

جميع التحليلات ، حسب المواصفات القياسية العالمية ، موضوعة لمحولات قدرة ذات ملفات مصنوعة من النحاس ، والعزل المستخدم عبارة عن ورق السليولوز ، أو مواد صلبة مكبوسة ، المحول مملوء بالزيت الطبيعى الهيدروكربونى (*Hydrocarbon Mineral Oil*) .

تعمل محولات القدرة تحت ظروف محيطة متغيرة ، وحالات أحمال تعتمد على تشغيل المنظومة الكهربائية . خلال تشغيل المحولات ، يخضع عزل ملفات المحولات لدرجات حرارة عالية واجهادات حرارية وكهربائية مسببة تآكل للمواد العازلة الصلبة ، مثل الورق المضغوط ، ويتم تشكيل غازات من أنواع مختلفة ، حيث تذوب هذه الغازات فى زيت المحول ، ويمكن الكشف عنها بعمل تحليل كيميائى . من الأسباب الرئيسية لحدوث تآكل أو أنهيار المواد العازلة حدوث البقع الساخنة *(Hot Spots)*، والقوس الكهربى *(Arcing)*.. مثل هذه الأعطال لا تسبب انهيار لحظى أى يمكن أن يستمر عمل المحول فى وجود هذه الأعطال ، ولكن مقنن المحول ينخفض نتيجة وجود هذه الاعطال .

يمكن تقسيم الغازات الناتجة كالآتى :

١- غازات ناتجة من تحليل الزيت هى :

غاز الهيدروچين ويرمز له H_2

غاز الميثان ويرمز له CH_4

غاز الايثان ويرمز له C_2H_6

غاز الاثيلين ويرمز له C_2H_4

غاز الاستيلين ويرمز له C_2H_2

٢ – غازات ناتجة من تحلل المواد السليولوزية *(Celluosie)* وهى:

أول أكسيد الكربون ويرمز له CO

ثانى أكسيد الكربون ويرمز له $C\ O_2$

تعتمد كمية الغازت الناتجة ، أثناء وجود الأعطال ، على خصائص الطاقة المتسببة فى حدوث الغازات وبالأضافة إلى نوع العطل الحادث .

إذا كان مستوى الطاقة منخفض وحد ث تفريغ شحنة جزئى ، فى فراغ الغاز المحيط

بالزيت أو المادة المغموسة بالزيت ، يحدث تحلل أيونات جزئيات الزيت وينطلق الهيدروچين .

فى حالات أخرى يتحلل الزيت نتيجة ارتفاع درجة الحرارة مع تغيير نوع الهيدروكربونات الناتجة .

نتيجة درجات حرارة التشغيل العادية يحدث تحلل بسيط للزيت وينتج عنه غازى هيدروچين وميثان .

اذا كان مستوى الطاقة مرتفع ، وحدثت بقع ساخنة *(Hot Spots)* يمكن أن ترتفع درجات الحرارة من ١٥٠° م إلى ١٠٠٠° م مسببة تحلل الزيت

ويمكن حدوث أى من الحالات الآتية

- عند درجات الحرارة المنخفضة ينتج غاز الميثان CH_4
- عند درجات الحرارة المرتفعة ينتج غاز الايثان C_2H_6 يصاحبه قوس كهربى
- اذا ارتفعت درجة الحرارة إلى ٢٠٠٠° م ينتج غاز الاستيلين C_2H_2

قيم الغازات الذائبة التى يكون لها معنى خاص :

هناك سؤالان يجب الاجابة عليهما أولاً :

١ - هل قيم الغازات الذائبة المقاسة أكبر من حساسية طرق التحليل أو حساسية المعدات ؟

٢ - اذا كانت الإجابة نعم ، فهل الغازات الذائبة كافية لتبرير البحث عن أن هناك عطل بالمحول ؟

إجابة السؤال الأول تعتمد على طرق التحليل ، ونوع المعدات المستخدمة ، وتحدد المواصفات القياسية العالمية *IEC 567* قيم حساسية التحليل ، إذ يجب التأكد من أن قيمة الغازات المركزة بالزيت تكون على الأقل عشرة أمثال قيمة حساسية الغاز بالزيت .

لأجابة السؤال الثانى يجب معرفة أنه نتيجة التشغيل العادى يحدث تشكيل للغازات ، ولا يكون هناك أى أعطال ، كذلك فى المحولات الجديدة أو المحولات التى تم اعادة ملئها بالزيت ، يمكن أن تتكون غازات بالزيت ، مصادر هذه الغازات يمكن تلخيصها كالآتى :

١ - تتشكل غازات خلال عمليات التكرير ، ولا يمكن التخلص منها بواسطة عمليات طرد الغازات من الزيت *(Oil Degassing)*.

٢ - غازات تتشكل خلال عمليات التجفيف وغمس المحولات فى المصنع .

٣ - غازات تتشكل نتيجة أعطال سابقة ولم يمكن التخلص منها بالكامل أثناء عمليات التكرير .

٤ - غازات تتشكل أثناء عمليات التصليح مثل لحام النحاس ، ...

للتغلب على هذه المشاكل ، تقترح المواصفات العالمية القياسية ، أن يتم عمل تحليل للغازات الذائبة بعد تشغيل المحول ، وتسمى *(Benchmark)* وتعتبر كمرجع للمحول عند عمل تحليل لغازات المحول بعد ذلك ، وتختلف من محول إلى محول آخر .

خلال عمليات التشغيل العادى ، يمكن أن تتشكل غازات اول وثانى أكسيد الكربون (CO, CO_2)، وعلى ذلك فان جميع الغازات تتركز بنسبة أكبر كلما زاد عمر المحول (على الرغم من أن بعض القيم تستقر نتيجة تغيير الهواء أعلى الخزان الاحتياطى) ، وتتغير القيمة الحقيقية لتركيز الغازات بالزيت لمحولات ذات أعمار مختلفة تغيراً كبيراً حسب طريقة التشغيل وتصميم المحولات ، ولهذا يوصى دائماً بأن تكون هناك قيم مسجلة للغازات المركزة بالزيت لكل محول عند الأعمار المختلفة .

اذا كانت نتائج تحليل زيت المحول ، أثناء اختبار دورى ، غير مطابقة لقيم نتائج المصنع ، فليس من الضرورى الحكم بأن النتائج تدل على وجود عطل بالمحول ، ولكن تشير فقط إلى أنه يجب الاهتمام والعناية أكثر بهذا المحول .

ولكن اذا تعدت نتائج الغازات الذائبة قيماً معينة ، يجب فى هذه الحالة الرجوع إلى القيم القياسية ومعرفة نوع العطل .

المواد العازلة السليولوزية *Cellulosie*

ينتج عن تحلل المواد العازلة السليولوزية كل من غازى اول وثانى اكسيد الكربون (CO , CO_2) بنسب مرتفعة أكبر من الغازات الأخرى ، وكذلك ينتج كل من اول وثانى اكسيد الكربون نتيجة التشغيل العادى للمحولات ، وتزيد النسبة بزيادة عمر المحول ، بالاضافة إلى أنه نتيجة عمليات التجفيف ، ثم ملء المحولات بالزيت بالمصنع ، يحدث تحليل للمواد العازلة

السليولوزية ، ونتيجة لذلك فان بعضاً من غازى (CO , CO_2) تبقى بالمحول .

كذلك فان المحولات التى التى تملأ بغاز CO_2 اثناء عمليات النقل ، يكون من الصعوبة التخلص منه بعد ذلك ، ولذا يجب أن تؤخذ فى الاعتبار بعد ذلك ، عند عمل تحليل لنسب الغازات الذائبة.بالاضافة الى ذلك فان المحولات التى تحتوى على خزان احتياطى يمكن أن يدخل غاز CO_2 مع الهواء الجوى الى حوالى ٣٠٠ ميكرولتر لكل لتر من الزيت ، وعلى هذا فانه عند تحليل الغازات الذائبة بالزيت تكون كمية CO_2 الناتجة اما من المواد السليولوزية نتيجة الأسباب السابقة ، أو نتيجة عطل بالمواد السليولوزية .

ايجاد كل من غازى CO ، CO_2 المركز الذائب فى الزيت :

نتيجة التشغيل العادى للمحولات يحدث تحلل للمادة العازلة السليولوزية وينتج كل من غازى (CO , CO_2) ، واذا امكن عمل تحليل احصائى ، فان النسبة بين $\frac{CO_2}{CO}$ تكون حوالى ٧ (على الرغم من أن القيمة القياسية حوالى ٤)

ينتج عن درجات الحرارة العالية عند حدوث بقعة ساخنة أو قوس كهربى تحلل فى المواد العازلة السليولوزية التى تساعد على زيادة كمية غاز CO ، ويعتمد معدل انتاج غازى CO ، CO_2 على الاوكسجين والرطوبة ودرجة الحرارة . وعلى ذلك اذا كانت النسبة $\frac{CO_2}{CO}$ اقل من ٣ أو أكثر من ١١ تشير إلى حالة عطل مرتبط بالمادة العازلة السليولوزية ، ويمكن ايضاً أن تشير لتحلل الزيت ، ويمكن مقارنة النتائج بحالة سابقة لنفس المحول أو محول آخر يؤدى نفس الاحمال ، ومن نفس التصميم .

فى بداية تشغيل المحولات تكون قيم غازى CO ، CO_2 منخفضة ، والنسبة $\frac{CO_2}{CO}$ أقل من ٧ ، وترتفع هذه النسبة قليلاً مع عمر تشغيل المحول .

طريقة تشخيص الغازات الحرة الموجودة بجهاز تجميع الغازات :

خلال الاعطال ، فان معدل انطلاق الغازات لجميع أنواع الاعطال تكون مرتبطة بمعدل اطلاق الطاقة الكهربائية . فعند معدل الطاقة المنخفض ، وفى وجود تفريغ شحنة جزئى أو درجات حرارة نتيجة البقعة الساخنة فسوف تنطلق غازات ببطئ وتذوب جميعها فى الزيت .

اذا كان معدل اطلاق الطاقة مرتفع مع وجود درجة حرارة عالية ، فسوف تنطلق غازات سريعة ، النتيجة ان فقاقيع الغازات تتجة الى الخزان الاحتياطى ويذوب جزء من الغازات فى الزيت (هذا الجزء سوف يتبادل أو يتحد مع الغازات الذائبة سابقاً فى الزيت) بعض

الغازات تتجه الى جهاز تجميع الغازات أو مخدة الغاز

نتيجة معدل اطلاق الطاقة المرتفع جداً مصاحباً بحدوث قوس كهربى يحدث انتشار سريع للغاز ، كذلك فقاعات الغازات تزيد بسرعة فى إتجاه الجهاز ، وتتحد مع قليل من الغازات الذائبة بالزيت ، وعلى ذلك فان الغازات المتجمعة فى الجهاز تكون مبدئياً غير متعادلة مع الغازات الذائبة بالزيت-اذا تركت هذه الغازات لمدة طويلة فى الجهاز ، فان بعض هذه الغازات سوف تنوب أيضاً فى الزيت ، من أمثلة هذه الغازات غاز الاستيلين . الذى ينتج من حدوث قوس كهربى ، يكون سريع الذوبان بالزيت ويؤدى الى نتائج مضللة .

عموماً ، فانه لتحليل الغازات الحرة الموجودة بجهاز تجميع الغاز أو من مخدة الغاز، يمكن اتباع نفس طريقة تحليل الغازات الذائبة فى الزيت ، وعلى ذلك ، فانه عندما يعمل جهاز *(Surge Element)* ، يجب الأخذ فى الاعتبار حدوث عطل خطير ، ويجب تحليل الغازات لمعرفة نوع هذا العطل .

عند تجميع الغازات ببطء ، فانه يفضل عمل تحليل للغازات الذائبة بالزيت منها للغازات الحرة ، وذلك لتحديد العطل الموجود .

النسبة بين الغازات المركزة الذائبة بالزيت الى الغازات الحرة

تعرف هذه النسبة بمعامل اوستوالد *(Ostwald Coefficient)* لكل غاز على حدة ويرمز لها بالرمز K ويعرف لاى غاز كالآتى

$$K = \frac{\text{Concentration of Gas in Liquid Phase}}{\text{Concentration of Gas In Gas Phase}} = \frac{\text{تركيز الغاز فى مرحلة السيولة}}{\text{تركيز الغاز فى المرحلة الغازية}}$$

قيمة المعامل *K* للغازات المختلفة الموجودة بزيوت العزل الطبيعى عند درجات حرارة ٢٠° م ، ٥٠° م تعطى من الجدول (٢ - ٢)

جدول (٢-٢)

الغـــــاز	الرمـــــز	K عند ٢٠° م	K عند ٥٠° م
نتروچين	N_2	٠,٠٩	٠,٠٩
اكسچين	O_2	٠,١٧	٠,١٧
هيدروچين	H_2	٠,٠٥	٠,٠٥
اول اكسيد الكربون	CO	٠,١٢	٠,١٢
ثانى اكسيد الكربون	CO_2	١,٠٨	١,٠
ميثان	CH_4	٠,٤٣	٠,٤
ايثان	C_2H_6	٢,٤	١,٨
اثيلين	C_2H_4	١,٧	١,٤
استيلين	C_2H_2	١,٢	٠,٩

(يمكن ان تكون القيم الحقيقية للمعامل K مختلفة اختلافاً بسيطاً عن القيم المذكورة بالجدول) يلاحظ أن تكون عينة الغاز والسائل عند نفس درجة الحرارة .

معدل التغيير فى انتاج الغازات

يحدث نتيجة الاعطال انتشار للغازات ، ويعتمد معدل انتشار الغازات على شدة العطل الحادث ، ويمكن قياس هذا المعدل بوساطة تحليل كميات متتالية من الغازات الموجودة بالزيت ، عند أزمنة متتالية .... t_1 , t_2 , t_3 لكل غاز موجود فى عينة الزيت .

يعرف الاختلاف (الفرق) بين تركيزين متتالين كالآتى

$$Y_2 - Y_1 = \Delta Y_1$$

$$Y_3 - Y_2 = \Delta Y_2$$

....

حيث $\Delta Y_1, \Delta Y_2$ ...... كمية الغاز لكل فترة

وتكون الفترات بين التحليلات

$$t_2 - t_1 = \Delta t_1$$

$$t_3 - t_2 = \Delta t_2$$

....

ويمكن ان تكون الفترات كل اسبوع أو كل يوم ، أو كل يوم ، أو كل عدد معين من الساعات، من القيم المتتالية ΔY يمكن الوصول إلى تحليل لسبب العطل .

فيما يلى بعض الامثلة :

١ - العلاقة بين الغازات الناتجة وعوامل تشغيل المحول

فى أغلب الحالات ، تكون كمية الغازات الناتجة فى كل مرحلة بين التحليلات دالة على طريقة تشغيل المحول خلال كل مرحلة ، فمثلاً ، من الحالات الشائعة ان العلاقة بين الغازات الناتجة وزمن تشغيل المحول *(Energized)* تكون خطية ، هذا بفرض ان الغاز الناتج يكون محكم عن طريق اعادة الشحن الجزئى ، أو بوساطة وجود أو غياب فيض القلب ، تكون العلاقة بين $\Delta t, \Delta Y$ خط مستقيماً لايمر بنقطة الصفر بسبب أن هناك فقد فى الغاز من سطح الزيت.

وتكون المعادلة العامة

$$\Delta Y = ax_1 - \Delta t . Z$$

حيث

a = معامل يعطى دلالة لشدة العطل

x_1 = الزمن خلال الفترة Δ_t والتى يكون فيها المحول مغذى بالتيار *(Energized)*

Z = كمية تعتمد على فقد الغاز *net gas losses*

(لازمنة الاختيار الصغيرة تعتبر Z ثابتة)

من الشائع أن الغاز الناتج تكون علاقته خطية معتمداً على تكامل الكمية I^2dt حيث I تيار الحمل ، t الزمن (يمكن حساب هذه الكمية بالتقريب بأخذ القراءات كل ساعة مثلاً) ،

وعلى ذلك فان الحالة تعتمد على مفقودات الحمل ، حيث تكون المفقودات I^2R غالباً المتسببة فى حدوث ارتفاع درجة حرارة الموصلات ، وعلى ذلك تكون المعادلة كالآتى

$$\Delta Y = b\int I^2 dt - \Delta t \,.\, Z$$

هناك عوامل أخرى تعتمد عليها المعادلة ΔY ، مثلاً التيار I ، بفرض أن العطل مثلاً يكون متصلاً بتسريب الفيض .

وتكون العلاقة العامة :

$$\Delta Y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \ldots\ldots\ldots - \Delta t \,.\, Z$$

حيث

x_1 = الزمن خلال الفترة Δt والتى يكون المحول فيها مغذى بالتيار *(Energized)*

x_2 = تكون مساوية $\int I^2 dt$

x_3 = تكون مساوية $\int I dt$

x_4 = يمكن أن توضع مساوية لعوامل اخرى مناسبة وتكون مقترحة بالتجربة .

٢ - اختبار تغيير شدة العطل

كما ذكر سابقاً فان العوامل ...a,b, تدل على شدة نوع العطل .

يمكن تحديد قيمة هذه العوامل لكل دورة عن طريق ملاحظات تحليلات التوالى المبدئية . واستمرار الملاحظة لعينات اخرى يمكن أن يعطى قيماً ثابته لهذا العوامل ، وهذا لأكثر من دورة . إذا كانت قيم هذه العوامل فى زيادة مطردة ، فان شدة القصر تكون فى ازدياد، ويمكن أن تعطى دلالة على ضرورة خروج (فصل) المحول من الخدمة . أما اذا كانت القيم ثابته ومستقرة تقريباً ، فأنها تعطى دلالة على استقرار العطل ، وعندما تقل هذه القيم يكون ذلك دلالة على تلاشى العطل .

٣ - التغلب على تشبع الزيت

للاعطال الشديدة الثابته ، المعادلة الخطية تعطى دلالة على أن تركيز الغاز فى الزيت سوف ينمو خطيا ، حتى يصل إلى حالة تشبع بالزيت .

عند تشبع الزيت بالغاز يبدأ الغاز فى الانطلاق ، وينتج عن ذلك تشغيل جهاز تجميع الغازات .

من الطريقة السابقة يمكن التغلب على حدوث تشبع بالزيت ، فمثلاً اذا كانت المعادلة المؤثرة هى :

$$\Delta Y = bx_2 - \Delta t . Z$$

فاذا أمكــن التحكــم فى الحمــل بحيث لا تكـون الكمية $b\int I^2 dt$ خـلال أى فترة أكبر من $\Delta t.Z$ ، خلال نفس الفترة ، فانه يمكن فى هذه الحالة عدم وصول الزيت لحالة التشبع بالغازات . وفى العادة فان نمو Y يمكن أن ينبئ بأستخدام قيماً مناسبة لكل من Z , b ، وقبل توقع وصول Y الى حالة تشبع بالزيت ، يحدث طرد للغازات بالزيت . التشبع فى هذه الحالة يستخدم للدلالة على مستوى ذوبان الغازات ، ثم تنطلق فقاعات الغازات ، وتكون مجموع كل التركيزات المتكافئة فى الغاز مساوياً للوحدة .

وعلى هذا ، اذا كان نمو Y متوقعاً لكل غاز فى زيت المحول ، فأن هذه التركيزات يجب أن تقسم على المعامل K *(Ostwald Coefficient)* لاعطاء التركيزات المتكافئة فى الغازات الحرة،ثم تجمع الزيادة فى هذه التركيزات مع الزمن . اذا كانت نتيجة جميع المنحنيات تقترب من الوحدة ، فان حدوث تشبع يصبح قريب الوقوع .

التحليل الكروماتوغرافى (كيميائى) للغازات الذائبة بالزيت

Dissolved Gas Analysis By Gas Chromatography

الاعطال الشائعة التى يمكن أن تحدث داخل جسم المحول ، مثل ، القوس الكهربى ، ارتفاع درجة الحرارة ، التفريغ الجزئى للشحنة ، ينتج عنها اضطرابات كهربائية وكيماوية غير عادية . اساساً هذه الاضطرابات تسبب انطلاق الغازات الذائبة بالزيت . التحليل الكروماتوغرافى للغازات يعطى بيان بكميات الغازات وانواعها للتعرف بدقة على نوع العطل ، ومكانه بدقة ، كذلك يمكن لجهاز التحليل الكروماتوغرافى الحساس أن يكشف بدقة الغازات فى الغاز المخلوط والغازات الذائبة فى الزيت .

فى بداية أى عطل بسيط داخل المحول يمكن أن تنطلق الغازات ببطء وتنوب فى الزيت ، ولاتعمل على تشغيل جهاز الوقاية الغازية ، يمكن أن يكشف جهاز التحليل الكروماتوغرافى عن النسب الصغيرة من الغازات الذائبة فى الزيت ، مأخوذة من اماكن مختلفة من المحول ، والتى تعطى دلالة لنوع العطل ، وتساعد على منع تفاقم العطل ، او علاجه ، قبل حدوث انهيار كامل للمحول .

شكل الغازات الموجودة بزيت المحولات :

يعمل جهاز الوقاية الغازية (البوخهلز) بوساطة الغازات المتجمعة أعلى المحول . يمكن أن تتجمع الغازات بشكل مفاجىء نتيجة حدوث قوس كهربى شديد ، أو تتجمع الغازات تدريجياً كما فى حالة تدهور بطىء بالعازل .

يمكن تصنيف الغازات المتجمعة بخزان المحول نتيجة للعمليات الآتية :

- أكسدة *Oxidation*
- تبخر *Vapourisation*
- تحلل العزل *Insulation Decomposition*
- انهيار الزيت *Oil Breakdown*

وسيتم توضيح كل عملية على حدة

١ – الاكسدة *Oxidation*

تبدأ عمليات الاكسدة عندما تتحد (كيماوياً) كمية صغيرة من الزيت مع الاكسجين الذائب فى الزيت ، مكونة آثار لأحماض عضوية ، توثر على مكونات المحول ، مشكلة مادة صابونية . هذه المادة تتحلل فى الزيت وتكون عادة حافزاً للاسراع فى عمليات الاكسدة ، حيث ينطلق غاز ثانى اكسيد الكربون (CO_2)خلال عمليات الاكسدة .

٢ – التبخر *Vapourisation*

يحدث تبخر الزيت عند درجة حرارة ٢٨٠° م تقريباً (تبخر الماء عند ١٠٠° م) يمكن أن يحدث انذار زائف لجهاز الوقاية الغازية فى الحالات الآتية :

– نتيجة ارتفاع نسبة الرطوبة فى الخزان وتبخرها ، من سخونة المصدر ، فيحدث تكثيف لبخار الماء يؤدى الى تشغيل جهاز الوقاية الغازية .

– نتيجة تبخر المواد الايدروكربونية المكونة لزيت العزل .

٣ – تحلل العزل *Insulation Decomposition*

من المكونات الرئيسية للمحولات احتوائها على مواد عازلة صلبة ، وتتكون هذه المواد الصلبة اساساً من مواد سليولوزية أو راتنجية ، مثل الورق ، الورق المكبوس ، القطن ، راتنجات ، دهان ، ورنيش . هذه المواد يحتوى بنيانها الجزيئى على كميات من غازات الاكسجين ، الكربون ، الهيدروجين . بين درجتى ١٥٠° م – ٤٠٠° م تتحلل المواد العازلة وينتج هيدروچين ، أول وثانى أكسيد الكربون ، عند درجات حرارة أعلى من ٤٠٠° م تقل نسبة تشكل الغازات .

٤ – انهيار الزيت *Oil Breakdown*

يحدث انهيار فى الزيت نتيجة لحدوث قوس كهربى . يحتوى الزيت على الايدروكربونات الفطرية او الا روماتية *(Aromatic)*، التى تعتبر مركبات هيدروكربون وهيدروجين . نتيجة انهيار الزيت ينتج غاز الاستيلين *(Acetylen)*، وغاز ميثان *(Methan)* بكميات كبيرة . كذلك تنطلق غازات هيدروكربونية اخرى نتيجة الانهيار .

٥ – تأثير الكتروليتى *Electrolytic Action*

نتيجة لوجود أجزاء صغيرة ودقيقة من الالياف (*Fibres*) فى الزيت يحدث التأثير الالكترونى وخلال ذلك ينتج غازى هيدروچين واكسچين ويمكن وجود غازات هيدروكربونية قليلة اذا اختلطت بالمواد العازلة الصلبة .

اساس ونظرية التحليل الكروماتوغرافى (التحليل الكيميائى) للغازات .

١ - التحليل الكروماتوغرافى شكل خاص من التحليل الكيميائى الفنى ، يحتوى على جزء متنقل عبارة عن الغاز الحامل (*Carrier Gas*)، وجزء ثابت عبارة عن ممتص ، يكثف جزئيات الغاز ويلصقها بسطحه الصلب (*Solid Adsorbent*).

يمرر الغاز الحامل ، بعد تقليل الضغط ، خلال عمود الكروماتوغرافى الذى يحتوى على الممتص،وهو عبارة عن جزئيات محببة من مواد كيميائية ، مثل الالومينا (اكسيد الالومنيوم) ، هلام السيليكا (نوع هلامى من السيليكا شديد الامتصاص) ، ومنخل جزئى ، ويوضع العمود فى فرن تحكم حرارى .

٢ - تحقن عينة الزيت المحتوية على غازات مخلوطة (ذائبة) بوساطة سرنجة دقيقة (*Micro-Syringe*) أو عن طريق صمام لتحديد عينة الغاز (*Gas Sampling Value*)الى العمود الكروماتوغرافى عند النهاية الاقرب الى مصدر الغاز الحامل . الغاز الحامل يدفع العينة الى العمود ، وعندما يمر الخليط خلال الجزء الثابت ، يحدث تكثيف بين مكونات الغازات المخلوطة ، ويتم الكشف عن المكونات المفصولة عند نهاية عمود الكروماتوغرافى . شكل (٦٤-٢) يوضح رسم مبسط لطريقة التحليل الكروماتوغرافى .

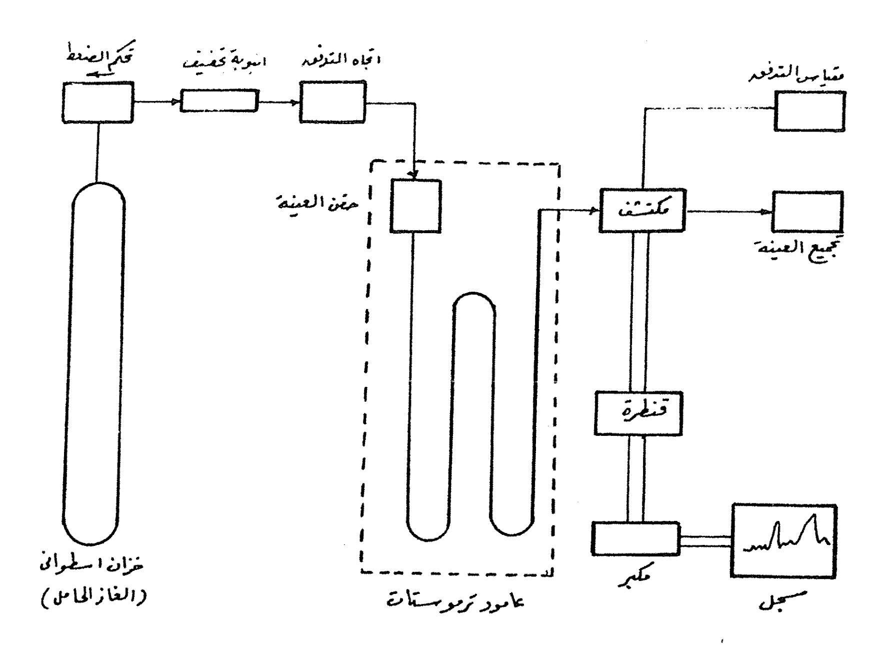
٣ - المكتشف *Detector*

أهم جزء فى مكونات جهاز التحليل هو المكتشف ، وتعتمد حساسية الجهاز على حساسية ونوع المكتشف المستخدم به .

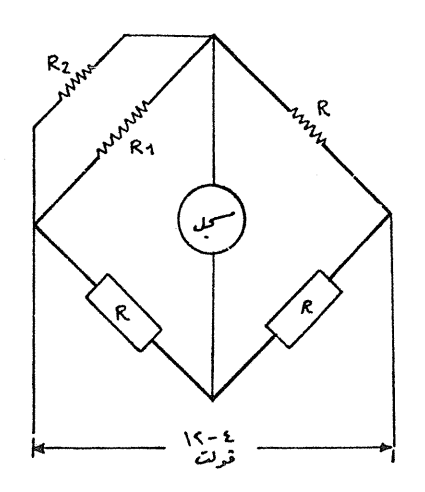
هناك نوعين من هذا المكتشف ، وهى الاكثر رواجاً لتحليل الغازات الذائبة هما :

- المكتشف بالتوصيل الحرارى

Thermal Conductivity Detector Or Katharometer



شكل (٦٤ - ٢)



شكل (٦٥ - ٢)

يقيس المكتشف التغيير فى التوصيل الحرارى لسلك ساخن نتيجة تدفق الغازات ومرورها عليه . يسرى الغاز الحامل بمعدل تحكم معتدل خلال سلكين ، احد السلكين موجود فى العمود الكروماتوغرافى والآخر فى العمود الأصم *(Dummy Column)*. السلكين يمثلان ذراعى القنطرة كما فى شكل (٦٥-٢) .

التغيير فى درجة الحرارة النوعية والتوصيل الحرارى راجع الى مرور الغازات المروقة *(Eluted)* على أحد الاسلاك مسببة عدم اتزان الجهد الناتج على القنطرة ، والذى يكبر ثم يسجل . الجهد المستخدم للقنطرة من ٤ - ١٢ فولت .

- مكتشف التأين باللهب Flame Ionisation Detector

يعتبر هذا النوع اكثر حساسية من النوع السابق ، يستخدم لهذا المكتشف خليط سريع الاشتعال مكون من هيدروچين ، اكسچين ، نيتروچين .

الغاز القادم من العمود يحترق من خلال منفث متصل لمخرج العمود ، المنفث يحمى من تيارات الهواء عن طريق شبكة تجميع . القوة الدافعة الكهربائية *(e.m.f)*المستخدمة خلال اللهب تغير مقاومته،ويحدث تغيير فى قيمة المقاومة . البخار المروق الموجود يشير الى أكبر قيمة للمقاومة نتيجة تأين الجزئيات العضوية فى اللهب .

٤ - مسجل Recorder

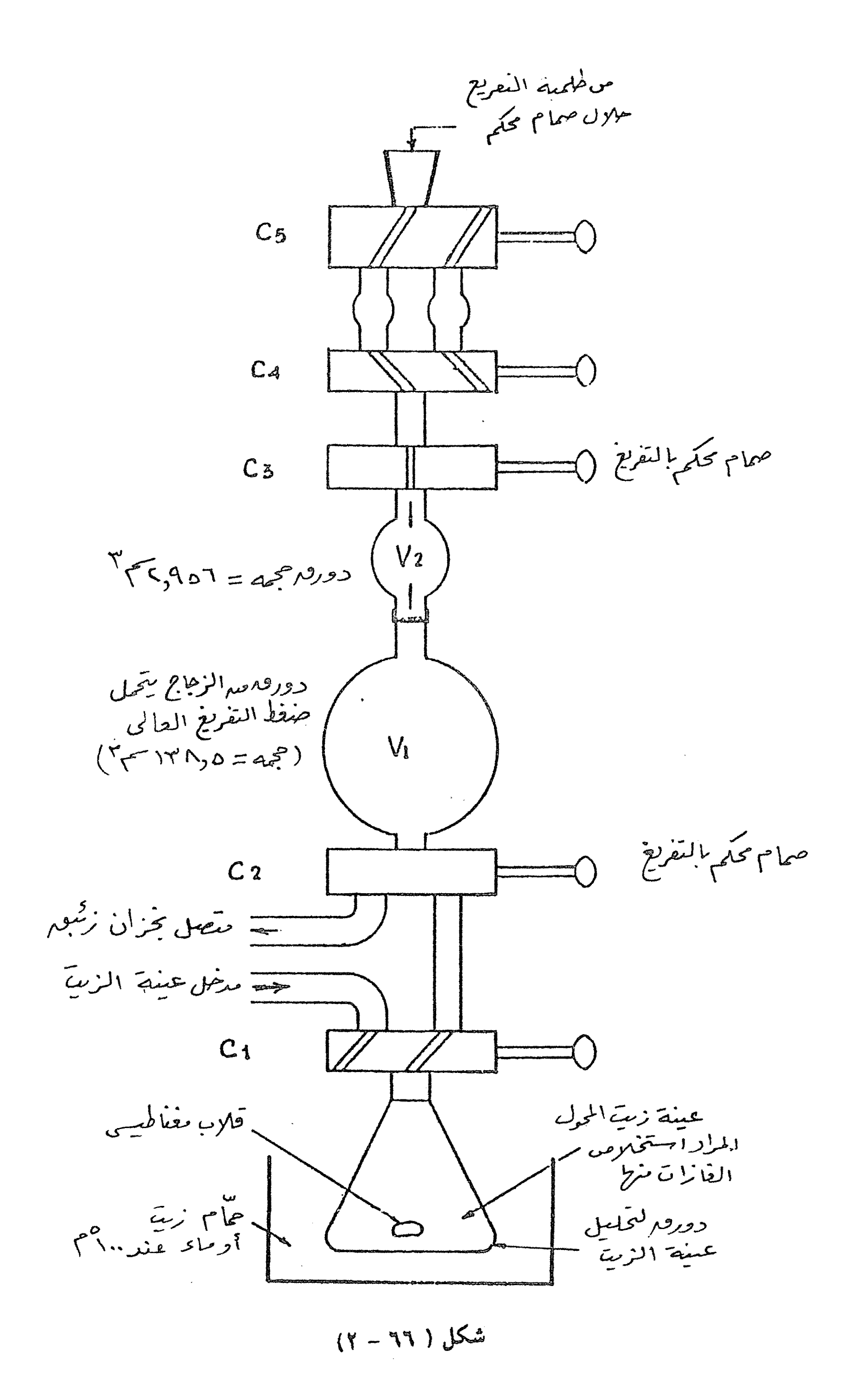
اغلب أجهزة التحليل الكروماتوغرافى تحتوى على ورق مسجلات متحرك يتم تسجيل النتيجة النهائية عليه . يوجد نوعين من المسجلات هما :

- جلفانومتر Galvanometer

يعتبر رخيص السعر نسبياً ولكن يحتا ج الى اشارة كهربائية لتشغيله *(Signal)* اكبر من اغلب أنوا ع المسجلات الاخرى .

- مقسم جهد Potentiometer

هذا النوع أكثر حساسية ، يستخدم قنطرة للحصول على قوة دافعة كهربائية *(Off-Balance e.m.f)* لتشغيل محرك تزامنى ، يتم ضبط تلامس سلك الانزلاق للقنطرة *(Slide Wire Contact)* مع اتزان القنطرة ، الملامس يتصل بالقلم أو الريشة التى تسجل


من طلمبة التفريغ
خلال صمام محكم
C5
C4
C3
صمام محكم بالتفريغ
V2
دورق حجمه = ٢,٩٥٦ سم٣
دورق من الزجاج يتحمل
ضغط التفريغ العالى
(حجمه = ١٣٨,٥ سم٣)
V1
C2
صمام محكم بالتفريغ
متصل بخزان زئبق
مدخل عينة الزيت
C1
قلاب مغناطيسى
عينة زيت المحول
المراد استخلاص
الغازات منه
حمّام زيت
أو ماء عند ١٠٠ °م
دورق لتحليل
عينة الزيت

شكل (٦٦ - ٢)

وضع الاتزان على الشريط المتحرك *(Moving Chart Strip)*

٥ - يتم استخلاص الغاز من عينة الزيت عن طريق الجهاز الموضح بشكل (٦٦-٢٠) .

تفسير النتائج

معرفة الهيدروچين الذائب والغازات الأخرى عند درجات الحرارة المختلفة فى الزيت سوف تساعد على تفسير نتائج تحليل الغازات .

الغازات الذائبة المختلفة عند درجة حرارة ٢٥° م بطريقة *(Pugh and Wagner)* موضحة فى جدول رقم (٣-٢)

قيمة الغازات الذائبة المركزة المسموح بها فى زيت المحولات الموضوعة بواسطة *M/S* - محولات اتحاد ألمانيا الغربية معطى فى جدول رقم (٤-٢)

جدول (٣-٢)

نـــــوع الغـــــاز		نسبة الحجم ٪
هيدروچين	Hydrogen	٧
أكسچين	Oxygen	١٦
نيتروچين	Nitrogen	٨,٦
ارجون	Argon	١٥
أول أكسيد الكربون	Carbon mon.	٩
ثانى أكسيد الكربون	Carbon dio.	١٢٠
ميثان	Methan	٣٠
ايثان	Ethan	٢٨٠
اثيلين	Ethylene	٢٨٠
استيلين	Acetylene	٤٠٠
بروبلين	Propylene	١٢٠٠
بروبان	Propane	١٩٠٠
بيوتين	Butane	٤٠٠٠

جدول(٤-٢)

التركيز المسموح به للغازات المذابة فى زيت المحولات

(Transformatoren Union AG)

الغــــاز	أقل من أربع سنوات فى الخدمة	٤ – ٦ سنوات فى الخدمـــة	أكثر من عشر سنوات فى الخدمة
هيدروچين	١٠٠/١٥٠	٢٠٠/٣٠٠	٢٠٠/٣٠٠
ميثان	٥٠/٧٠	١٠٠/١٥٠	٢٠٠/٣٠٠
استيلين	٢٠/٣٠	٣٠/٥٠	١٠٠/١٥٠
ايثيلين	١٠٠/١٥٠	١٥٠/٢٠٠	٢٠٠/٤٠٠
ايثان	٣٠/٥٠	١٠٠/١٥٠	٨٠٠/١٠٠٠
اول اكسيد الكربون	٢٠٠/٣٠٠	٤٠٠/٥٠٠	٦٠٠/٧٠٠
ثانى اكسيد الكربون	٣٠٠٠/٣٥٠٠	٤٠٠٠/٥٠٠٠	٩٠٠٠/١٢٠٠٠

الوحدات جزء من المليون *Part per million (ppm)*

(V gas / V oil)

الطرق العامة لتفسير النتائج

١ –قوس كهربى فى الزيت بدون تحلل لاى مواد عازلة صلبة .

الغازات المخلوطة تكون :

هيدروچين ٦٠ – ٨٠ ٪ من الحجم

استيليـــن ١٠ – ٢٥ ٪ من الحجم

ميثـــــان ١,٥ – ٣,٥ ٪ من الحجم

اثليــــــن ١ – ٢ ٪ من الحجم

بالاضافة الى ذلك يحتوى الزيت علي هواء مذاب ، وعلى ذلك احتواء العينة على النسبة العالية للهيدروچين واستيلين ، وغياب اى كمية من اول وثانى اكسيد الكربون تعكس نوع العطل وهو القوس الكهربى

٢ – قوس كهربى خلال المواد العازلة الصلبة

الغازات الناتجة من حدوث قوس فى الزيت مع جزء خلال مادة عازلة صلبة مثل الورق أو الورق المضغوط عبارة عن كمية كبيرة من غاز الهيدروچين والاستيلين مصحوباً بكمية كبيرة من اول اكسيد الكربون ، نسبة الميثان اكبر منه فى الحالة الاولى .

٣ – تفريغ جزئى فى مادة السليلوز وفى الزيت

الغازات الرئيسية فى هذه الحالة هى الهيدروچين ، ميثان ، اول اكسيد الكربون ، ثانى اكسيد الكربون ، بينما غاز الاسيتيلين لا يظهر

٤ – تحليل حرارى للزيت

يحدث تحليل حرارى عند درجة حرارة ٤٠٠°م ويزيد بزيادة ارتفاع درجة الحرارة وشكل الغازات يكون جزيئيات منخفضة هيدروكربونية اساساً ، ميثان ، ايثان ، اسيتيلين ، هيدروچين . عند درجة حرارة ٦٠٠° م الغازات المخلوطة تتكون من ميثان وهيدروچين يوجد ايضاً ثانى اكسيد الكربون ولكن تتحلل عند درجات الحرارة الاعلى

٥ – تحليل حرارى لمادة سليلوز وللزيت

فى هذه الحالة الغازات الاساسية عبارة عن ثانى اكسيد الكربون واول اكسيد الكربون بالاضافة الى الهيدروچين عند درجات الحرارة اعلى من ٥٠٠° م

جدول (٥–٢) يلخص التفسير العام للنتائج

طريقة روجرز لتفسير النتائج *Roger's Method*

هذه الطريقة ممتازة فى حالة الغازات الهيدروكربونية . بمعرفة نسبة الغاز يمكن الكشف عن نوع العطل .

باستخدام هذه الطريقة لا يحتاج لمعرفة حجم عينة الزيت .

فى هذه الطريقة يتم استخدام اربع نسب للغازات هى :

$$\frac{\text{ميثان}}{\text{هيدروچين}} \text{ ، } \frac{\text{ايثان}}{\text{ميثان}} \text{ ، } \frac{\text{ايثيلين}}{\text{ايثان}} \text{ ، } \frac{\text{اسيتيلين}}{\text{اثيلين}}$$

أو

$$\frac{CH_4}{H_2} \text{ , } \frac{C_2H_6}{CH_4} \text{ , } \frac{C_2H_4}{C_2H_6} \text{ , } \frac{C_2H_2}{C_2H_4}$$

هذه النسبة يمكن ان تكون اكبر من الواحد أو اقل

النسبة والعطل موضحة فى جدول (٦-٢)

تفسير النتائج بمعرفة نسبة التركيز للغازات الذائبة فى الزيت

الطريقة المتفق عليها لتشخيص الاعطال عن طريق حساب النسبة بين تركيز الغازات التالية

$$\frac{\text{استيلين}}{\text{اثيلين}} \text{ ، } \frac{\text{ميثان}}{\text{هيدروچين}} \text{ ، } \frac{\text{ايثيلين}}{\text{ايثان}}$$

أو

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} \text{ , } \frac{CH_4}{H_2} \text{ , } \frac{C_2H_4}{C_2H_6}$$

جدول (٧-٢) يوضح حدود النسب المختلفة تبعاً للعمر الطبيعى ، ولانواع الاعطال المختلفة والتى يمكن عن طريقها تحديد نوع العطل . هذه الطريقة هى المنصوص عليها بالمواصفات القياسية العالمية *IEC 599* .

جدول (٥-٢)

العطل	الغازات الناتجة
١ - قوس كهربى فى الزيت بدون مواد عازلة صلبة	هيدروچين + استيلين + عدم وجود أى كمية من اول وثانى اكسيد الكربون
٢ - قوس كهربى خلال مادة عازلة صلبة	هيدروچين + استيلين + ميثان + اول اكسيد الكربون
٣ - تفريغ جزئى فى مادة السليولوز وفى الزيت	هيدروچين + ميثان + اول ا كسيد الكربون + ثانى اكسيد الكربون
٤ - تحليل حرارى للزيت	عند ٤٠٠° م : ميثان + ايثان + استيلين + هيدروچين عند ٦٠٠° م : ميثان + هيدروچين أعلى من ٦٠٠° م : ميثان + هيدروچين + كربون
٥ - تحليل حرارى لمادة السليولوز والزيت	ثانى اكسيد الكربون + اول اكسيد الكربون + هيدروچين عند درجة أعلى من ٥٠٠° م
٦ - نقطة ساخنة	هيدروچين + ايثيلين

جدول(٦-٢)

طريقة روجرز لتشخيص الاعطال باستخدام نسبة الغازات الهيدروكربونية

$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_6}{CH_4}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	التشخيص	نسبة عينة المحول
٠	٠	٠	٠	– اذا كانت $\frac{CH_4}{H_2}$ صفر أو الوحدة يكون تفريغ جزئى	٢
				– فيما عدا ذلك يكون انهيار عادى	٣٤,٢
١	٠	٠	٠	– تسخين اعلى من الحد ببطئ اقل من ١٥٠° م	١١,٨
١	١	٠	٠	– تسخين اعلى من الحد ببطئ ١٥٠ – ٢٠٠° م	٩
٠	١	٠	٠	– تسخين اعلى من الحد ببطئ ٢٠٠ – ٣٠٠° م	٧,٨
٠	٠	١	٠	– الموصلات تسخن اعلى من الحد	١١,١
١	٠	١	٠	– تيارات اعصارية أو ارتفاع حد التسخين عند نقط التوصيل أو كليهما	٩
٠	٠	٠	١	– قفز الوميض بدون قدرة	٢,١
٠	١	٠	١	– عطل بدوائر نقط التغيير(انهيار تيار)	١,١
٠	٠	٠	١	– قوس فى وجود قدرة (قوس مستمر)	٩,٧

رقم الكود	خصائص العطل	$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$	$\frac{CH_4}{H_2}$	$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$	امثلة نموذجية
		كود حدود النسبة			
	نسبة الغازات الممتصة				
	اقل من ٠,١	٠	١	٠	
	٠,١ - ١	١	٠	٠	
	١ - ٣	١	٢	١	
	اكبر من ٣	٢	٢	٢	
٠	لايوجد عطل	٠	٠	٠	تأثير طبيعى بالزمن
١	تفريغ جزئى لكثافة طاقة منخفضة	٠	١	٠	تفريغ فى تجويف ملئ الغازات ناتج من عدم اكتمال الغمس ، او سرعة التشبع او ارتفاع الرطوبة او التجويف
٢	تفريغ جزئى لكثافة طاقة مرتفعة	١	١	٠	كما فى الحالة السابقة ، ولكن يؤدى الى ترك اثر او ثقب فى العازل المصمت
٣	تفريغ لطاقة منخفضة (ملحوظة ١)	١-٢	٠	١-٢	قوس كهربى مستمر فى الزيت بين نقطتى توصيل سئ مع اختلاف جهديهما او لجهد عائم . انهيار للزيت بين المواد الصلبة
٤	تفريغ لطاقة مرتفعة	١	٠	٢	تفريغ فى وجود الطاقة ، انهيار، قوس كهربى للزيت بين اللفات او الملفات او بين الملفات والارض ـ تيار القطع منتقى
٥	عطل حرارى لدرجة حرارة منخفضة اقل من ١٥٠ °م (ملحوظة ٢)	٠	٠	١	سخونة عزل الموصلات
٦	عطل حرارى لدرجة منخفضة بين ١٥٠ - ٣٠٠ °م (ملحوظة ٣)	٠	٢	٠	مكان تجاوز السخونة فى القلب يرجع الى مكان تركيز الفيض . ارتفاع درجة حرارة النقطة الساخنة ، التغيير من صفر النقطة الساخنة فى القلب ، قصر فى القلب ،
٧	عطل حرارى لدرجة حرارة متوسطة بين ٣٠٠ - ٧٠٠ °م (ملحوظة ٣)	٠	٢	١	ارتفاع درجة حرارة القلب راجع الى التيارات الاعصارية ، نقط لحام غير جديدة (تشكيل كربونى حرارى) حتى القلب والخزان تمر تيارات دائرية .
٨	عطل حرارى لدرجةحرارة اكبر من ٧٠٠ °م (ملحوظة ٤)	٠	٢	٢	

ملاحظات على جدول (٧-٢)

ملحوظة ١

الغرض من هذا الجدول ، سوف تتجه النسبة

$\frac{C_2H_2}{C_2H_4}$ للارتفاع من القيمة بين ١ , ٠ - ٣ الى اكبر من ٣

$\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$ للارتفاع من القيمة بين ١ , ٠ - ٣ الى اكبر من ٣ مثل حدوث شرارة بشدة

ملحوظة ٢

فى هذه الحالة فان الغازات تحدث اساساً من تحلل المادة العازلة الصلبة؛هذا يوضح قيمة النسبة $\frac{C_2H_4}{C_2H_6}$

ملحوظة ٣

حالة العطل هذا تشير اساساً الى زيادة تركيز الغازات . النسبة $\frac{CH_4}{H_2}$ عادة حوالى ١ ، القيمة الحقيقية اعلى من الوحدة معتمدة على عدة عوامل مثل تصميم نظام حماية الزيت، مستوى درجة الحرارة الحقيقى وكمية الزيت

ملحوظة ٤

زيادة كمية C_2H_2 ربما تشير الى أن درجة حرارة النقطة الساخنة اعلى من ١٠٠٠° م

مثال (١) :

محول قدرة ١٥ م.ف.أ ٦٦ / ١١ ك.ف تم تجربته فى ديسمبر ١٩٧١

نتائج تحليل الزيت :

الغــــاز		(حجم الغاز / حجم الزيت) جزء من المليون ppm
ميثان	CH_4	٢٥
ايثان	C_2H_6	٧٩
اثيلين	C_2H_4	١٨
استيلين	C_2H_2	٦٢
هيدروچين	H_2	لايمكن الكشف عنها
ثانى اكسيد الكربون	CO_2	٣٧٤
اول اكسيد الكربون	CO	لم تختبر

تركيز غير عادى لغازى ايثيلين واستيلين يشير الى حدوث تسخين أعلى من الحد حتى ٣٠٠° م . طريقة روجرز تشير الى عطل تسخين أعلى من الحد ، يعتقد أنه راجع الى التيارات الاعصارية من قلب / قلب

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{62}{18} = 3.4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{25}{0} = \infty \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 2$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{18}{79} = 0.23 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 0$$

مثال ٢

محول قدرة ٢٥٠ م.ف.أ ٢٢٠ / ١٣٢ ك.ف - تم تركيبة ١٩٧٤

أعطى جهاز الوقاية الغازية انذاراً ـ ثم اجراء طرد للغازات عدة مرات .

وكانت النتائج كالتالى :

الغـــــاز		(حجم الغاز / حجم الزيت) جزء من المليون ppm
ميثان	CH_4	١٠٦
ايثان	C_2H_6	٠٢٤
اثيلين	C_2H_4	١٦٢,٩
استيلين	C_2H_2	٢,٨
هيدروچين	H_2	٢٥,٦
ثانى اكسيد الكربون	CO_2	١٢٨٣,٨
اول اكسيد الكربون	CO	١٢٧

النسب تدل على ارتفاع حد التسخين نتيجة التيارات الاعصارية بين الملفات ، هذا يمكن ان يكون راجعاً الى عدم توافق نقط التوصيل فى موصلات متعددة، مسبباً تيارات اعصارية فى موصلات منفردة

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{2.8}{162.9} = 0.017 \quad \cdots\cdots \quad 0$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{106}{25.6} = 4 \quad \cdots\cdots \quad 2$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{162.9}{24} = 6.75 \quad \cdots\cdots \quad 2$$

من جدول (٧-٢) تكتب النتيجة

$$0 - 2 - 2 = 8$$

اى حالة العطل رقم ٨ بالجدول (٧ - ٢)

مثال ٣ :

محول وحدة مولد ٦٠ م . ف . أ ١٣٢ / ٢٢٠ ك . ف .

اشتعال جهاز الوقاية الغازية

نتيجة تحليل الغازات كالتالى :

الغــــــاز		(حجم الغاز / حجم الزيت) جزء من المليون ppm
ميثان	CH_4	٢٦٥
ايثان	C_2H_6	١٠٠
اثيلين	C_2H_4	٥٣٠
استيلين	C_2H_2	١٥
هيدروچين	H_2	اثر
ثانى اكسيد الكربون	CO_2	٤٠٠
اول اكسيد الكربون	CO	لم يختبر

من النسب يتضح ان عطل تسخين اعلى من الحد قد حدث ، غالباً يرجع الى التيارات الاعصارية خلال الملفات ، ويمكن ان يكون راجع الى سخونة اعلى من الحد عند نقط الربط

$$\frac{C_2H_2}{C_2H_4} = \frac{15}{530} = 0.01 \quad \text{.................} \quad 0$$

$$\frac{CH_4}{H_2} = \frac{265}{0} = \infty \quad \text{.................} \quad 2$$

$$\frac{C_2H_4}{C_2H_6} = \frac{530}{100} = 5.3 \quad \text{.................} \quad 2$$

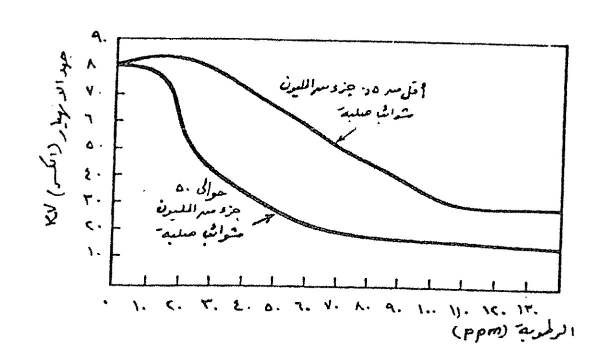
مثال ٤

محول قدرة ٤٠٠ م .ف أ ـ الجهد المقنن ٢٢٥ ك .ف

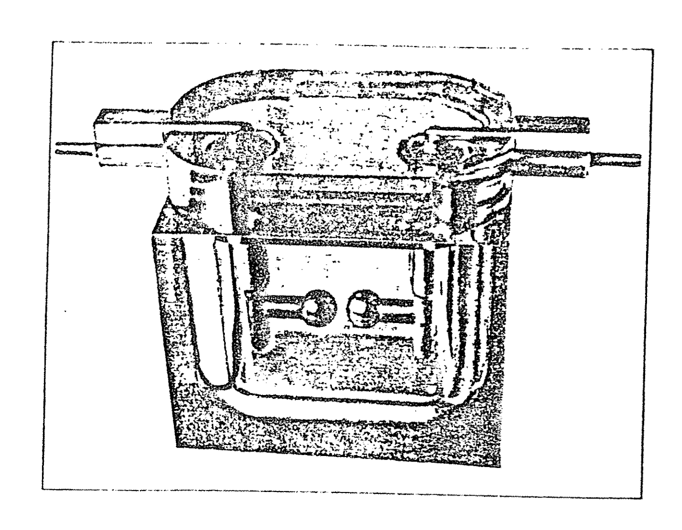
تم تشغيله ١ / ١٢ / ١٩٩٠ مغير الجهد يعمل عند حالة اللاحمل .

تاريخ اخذ العينة / الغاز جزء من المليون	٩/ ٤ / ٩١ (العينة من اسفل المحول)	١٠ / ٤ / ٩١ (اسفل المحول)	٢ / ٧ / ٩١ (اعلى المحول)	٢٠ / ٧ / ٩١ (اسفل المحول)
H_2	١٠	اقل من ٢	١٠٣	١٤٢
O_2	٢٠٠	١٠٠	١٦٠٠	٣٣٠٠
N_2	١٩٥٠٠	١٦٢٠٠	١٨١٠٠	٣٤٧٠٠
CO_2	١٣٥	١١٢	٢١٤	٢٣٠
CO	٦٣	٦٥	٦٩	٨١
CH_4	٥	٣	٢٧٩	٢٦٤
C_2H_6	١٠	٤	١٢٥	١٠٥
C_2H_4	اقل من ٠,٥	اقل من ٠,٥	٢٦٣	٢٨٠
C_2H_2	اقل من ٠,٥	اقل من ٠,٥	اقل من ٠,٥	اقل من ٠,٥
النسبـــة				
C_2H_2 / C_2H_4	-	-	-	-
CH_4 / H_4	٠,٥	-	٢,٧١	١,٨٦
C_2H_4 / C_2H_2	-	-	٢,١	٢,٦٧
CO_2 / CO	٢,١٥	١,٧٢	٣,١٢	٢,٨٢
النتيجة	0-0-0=0	-	0-2-1=7	0-2-1=7

من خلال جدول (٧ – ٢) فان حالة العطل هى رقم ٧ أى عطل حرارى لدرجة حرارة متوسطة بين ٣٠٠ – ٧٠٠° م .



شكل (٦٧ - ٢) تأثير المياه والشوائب الصلبة على جهد الانهيار الكهربى للزيت



شكل (٦٨ - ٢) خلية إختبار الزيت

اختبارات الزيت

١ - اختبار قوة العزل الكهربى *Dielectric Strength Test*

يعتبر هذا الاختبار من أهم الاختبارات التى تجرى على زيت المحولات ، وذلك لأنه يعطى دلالة لأهم خاصية للزيت وهى قوة العزل . قوة العزل الكهربائى للزيت تتأثر بما يحتويه من مياه وألياف وشوائب صلبة أخرى .

شكل (٦٧ - ٢) يوضح العلاقة بين قوة العزل الكهربائى ، والرطوبة ، والشوائب بالزيت . ويلاحظ فى الشكل أن قوة العزل الكهربائى تنخفض بشدة للزيادة البسيطة فى الشوائب الصلبة ، عندما يكون محتوى المياه بالزيت ١٠ جزء من المليون .

عرفت المواصفات BS 148 , 1972 اختبار قوة العزل الكهربائى بأنه حالة الزيت التى يجب أن يتحمل عندها جهد ٣٠ ك. ف. خلال ثغرة ٤ مم لمدة دقيقة .

ولكن تغيرات المواصفات BS 148 , 1972 وكذلك نصت المواصفات IEC على أن يكون أختبار قوة العزل الكهربى المطلوب متغيير خلال ثغرة ٢,٥ مم عند زيادة فى المعدل ٢ ك. ف. / الثانية يبدأ من الصفر ويرتفع الجهد حتى الوصول الى قيمة الجهد الذى يحدث عندها أنهيار كهربى للعزل (الزيت) ، وعند حدوث القوس الكهربى يحتاج الى ٠,٢ ثانية حتى يتم اخماده .

جهاز اختبار قوة العزل الكهربائى

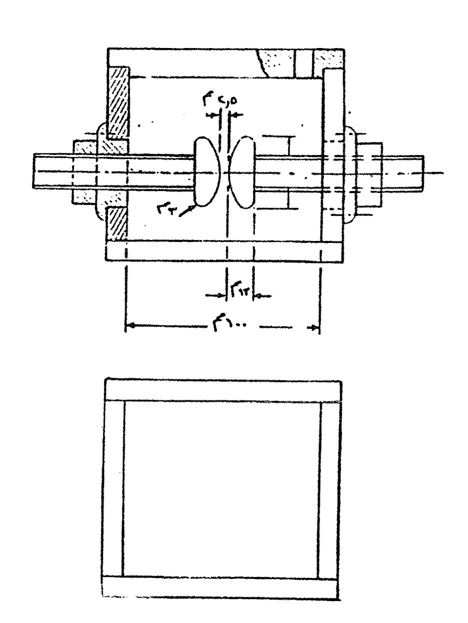
الغرض من الاختبار قياس قوة العزل الكهربائية للزيوت المستخدمة فى محولات القدرة الكهربائية . شكل (٦٨-٢) يوضح الشكل العام لجهاز الاختبار .

يتلخص الاختبار فى تسليط جهد متردد متزايد على عينة زيت ، تحت ظروف محددة ، حتى يحدث انهيار كهربائى لعينة الزيت .

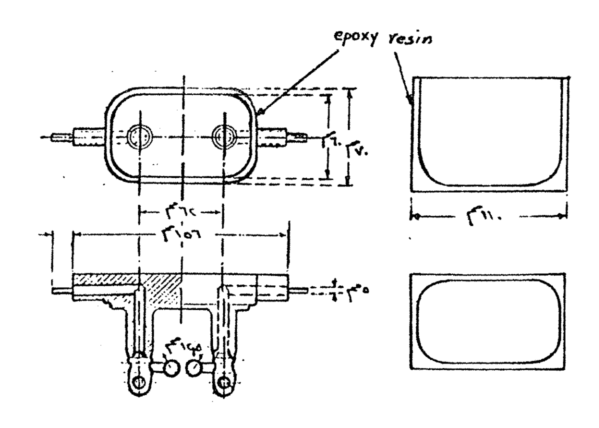
شكل (٦٩-٢) ، (٧٠-٢) يمثلا نوعين من اجهزة اختبار الزيت .

يتكون جهاز الاختبار عموماً من :

- وعاء مصنوع من الزجاج او مادة عازلة مناسبة ، أبعاد الوعاء الداخلية لاتقل عن ٥٥ مم عرضاً ، ٩٠ مم طولاً ، ١٠٠ مم عمقاً ، ويكون الوعاء مزوداً بقاعدة مناسبة عازلة للكهرباء ،



شكل (٦٩ - ٢) خلية إختبار زيت ذات قطبين بسطح كروى



شكل (٧٠ - ٢) خلية إختبار زيت ذات قطبين كرويين

حتى يتم عزله عن الارض ، سعة الوعاء ٣٠٠ - ٥٠٠ مللى لتر

- عدد ٢ الكترودات ، عبارة عن كرات معدنية مصقولة ، مصنوعة من النحاس الاصفر او البرونز أو ستنيل ستيل ، قطرها من ١٢,٧ الى ١٣ مم مثبتة افقياً فى وعاء الاختبار ، بحيث يبعد محورها عن قاع الخلية بمسافة لاتقل عن ٤٠ مم . عند اجراء الاختبار تكون المسافة بين الكرات من ٢,٥ - ٤ مم .

- مصدر التغذية بالجهد ، يكون ذا تردد مناسب (٢٥ - ١٠٠ هرتز) ومزود بمحول كهربائى يمكن رفع جهده بانتظام من الصفر . يجب أن يكون الجهد الخارج من المحول كافياً لإحداث قوس كهربى خلال عينة الزيت .

عينة الزيت :

يجب الاهتمام بالاحتفاظ بالعينة بعيداً عن أى مصدر للتلوث ، حيث أن وجود أى شوائب فى عينة الزيت يؤثر على النتائج التى يعطيها هذا الاختبار ، يجب ان تكون درجة حرارة غرفة الاختبار بين ١٥° م ، ٢٥° م وتكون سعة العينة لاتقل عن ٢٠٠٠ مللى لتر .

خطوات الاختبار :

١ - يتم تنظيف الوعاء والقطبين ثم تجفف جيداً . يفضل اضافة قليل من العينة على القطبين ، ثم يشطف الوعاء بهذا الزيت ، ويصب الزيت منه ، وتكرر هذه العملية .

٢ - ترج الزجاجة التى تحتوى على عينة الزيت ، ثم يصب منها قليل من الزيت لتنظيف فوهة الزجاجة ، ثم يصب الزيت بحرص داخل وعاء الاختبار ، حتى يصبح فوق القطبين بمسافة ٤٠ مم ويترك الزيت لمدة ٢٠ دقيقة وذلك للتخلص من الفقاعات الهوائية الموجودة بالعينة .

٣ - يزاد الجهد بانتظام إبتداء من قيمة صغرى ، وحتى الوصول الى القيمة التى سيتم الاختبار عندها . خلال فترة زمنية تتراوح بين ١٠ - ١٥ ثانية . ثم يثبيت الجهد عند تلك القيمة لمدة دقيقة واحدة . فاذا حدث انهيار كهربائى ، أو لم يحدث ، تسجل هذه الملاحظة (يستدل على حدوث الانهيار الكهربى بتكون قوس كهربى متصل بين القطبين) .

٤ - يكرر نفس الاختبار على كميتين من العينة الاصلية ، ويراعى أن تكون إحدى هاتين الكميتين الجزء الموجود بقاع الزجاجة .

٥ – فى حالة عدم حدوث انهيار كهربى (قوس) للعينة بعد دقيقة ، واذا طلب معرفة قيمة جهد الانهيار الكهربى للعينة ، يتم رفع الجهد تدريجياً بمعدل واحد كيلو ڤولت ، لكل ثانية ، حتى تنهار العينة .

٢ – أختبار ظل زاوية مفقودات المادة العازلة (ظا δ)

Loss Tangent or Dielectric Dissipation Factor (DDF)

يعرف ظل زاوية مفقودات المادة العازلة او معامل مفقودات العازل *(DDF)* ، عموماً ، بأنه خاصية كهربائية مميزة ، يتم بها تعيين مقدار فقد الطاقة (أى مفقودات العازل) بالمادة العازلة الكهربائية عند تسليط جهد متغير عليها . لأجراء اختبار ظل زاوية مفقودات الزيت ، تستخدم خلية اختبار أو مكثف ذى تصميم خاص ، يملأ بالزيت ، المراد اجراء أختبار له ، حتى يتم اخراج الهواء ، ويصبح كما لو كان مكثف المادة العازلة به زيت .

يجب ان تكون خلية الاختبار ، لها فقد صغير جداً ، سهلة الحل والتركيب بدون تغيير اوضاع الاقطاب ، كذلك يجب ان تكون نظيفة .

شكل (٧١-٢) يوضح شكل خلية الاختبار الموضوعة بمعرفة *CIGRE* ، بينما شكل (٧٢-٢) يوضح شكل خلية الاختبار الاكثر شيوعاً الآن .

يتم توصيل خلية الاختبار مع قنطرة تيار متغير ، حيث يتم عن طريقها قياس ظل زاوية مفقودات العازل (ظاδ)، تتكون القنطرة كما فى شكل (٧٣ – ٢) ب من مكثف نموذجى هوائى (C_0) ، مقاومة متغيرة (R_3) ، مقاومة ثابتة (R_4) ، مكثف متغير (C_4) عبارة عن مجموعة من مكثفات الميكا ، جلفانومتر ترددى (مبين توازن قنطرة) ، عدد ٢ مفرغ (لتفريغ التيارات الى الارض فى حالة انهيار المادة العازلة الجارى اختبار ها او انهيار المكثف النموذجى (C_0)) .

طريقة عمل القنطرة ، يتم تغيير قيمة المقاومة (R_3)، وسعة المكثف (C_4)، حتى يحدث اتزان للقنطرة ، اى يصبح مؤشر الجلفانومتر على الصفر .

عند حدوث اتزان للقنطرة يتم حساب مقدار ظا δ تبعاً للمعادلة $\tan \delta = C_4$

بمعنى ان تتساوىظاδعددياً مع مقدار سعة المكثف المتغير فمثلاً اذا كانت سعة المكثف المقابله لحدوث الاتزان تساوى ٠٫٠١ ميكروفاراد ، فان ظل زاوية مفقودات العزل ، للمادة

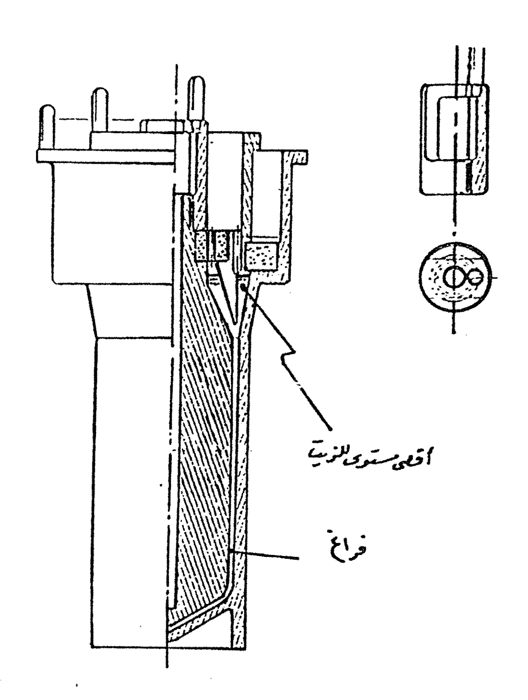
العازلة المقاسة ، تساوى ۰,۰۱ .

يمكن قياس ظا δ بأستخدام القنطرة حتى ۱ × ۱۰$^{-5}$ من خلال مكثف ۱۰۰ بيكوفاراد (بيكوفاراد = ۱۰ $^{-12}$ فاراد) ، يجب ان يكون الجهد المسلط على القنطرة ذا موجة جيبية . تؤخذ القياسات عند اجهادات ٥,٠ الى ۱ ك.ف / مم عند ٩٠° م .

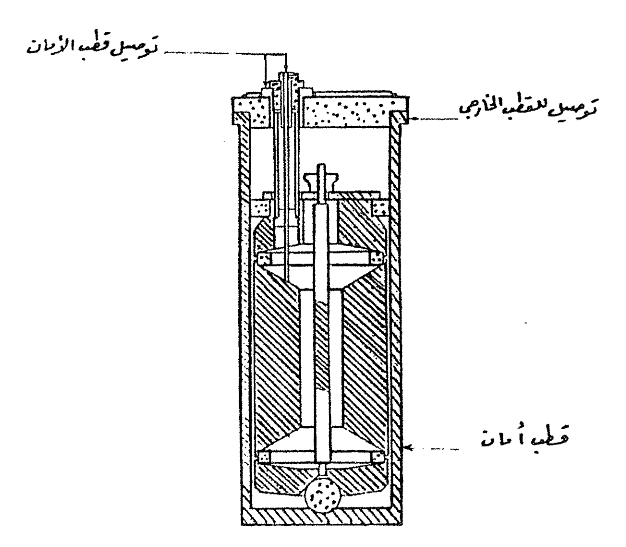
شكل (۷۳ - ۲) أ يوضح العلاقة بين ظل مفقودات العزل (ظاδ) ودرجة الحرارة لنوعين من الزيت أ ، ب ، ويلاحظ زيادة قيمة (ظاδ) للزيوت المستعملة عنه للزيوت الجديدة .

۳ - معامل المقاومة للتيار المستمر *D.C Resistivity*

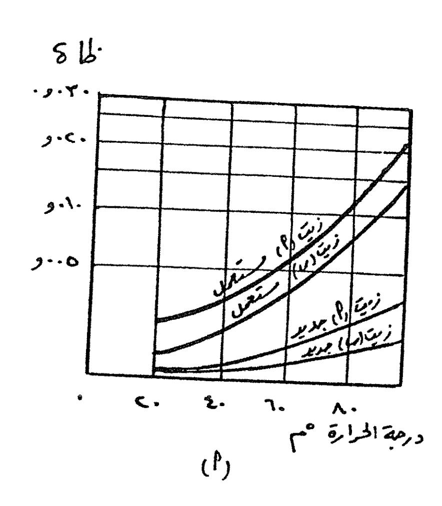
تستخدم نفس خلية الاختبار المستخدمة لاختبار (ظاδ) ايضاً لأختبار معامل المقاومة للتيار المستمر فى العازل ، حيث يتم قياس التيار المار بين قطبين عند تسليط جهد قيمته ٥٠٠ ڤولت (D.C). يقاس التيار بعد مرور دقيقة واحدة ، يتم عمل قصر بين القطبين لمدة خمس دقائق ، ثم يتم اعادة التجربة . يتم حساب القيمة المتوسطة لمعامل المقاومة للتيار المستمر المقاس . يجب ان يكون جهاز قياس التيار دقيقاً لدرجة مقياس ۱۰ $^{-11}$ أمبير . المواصفات القياسية البريطانية لطرق قياس كل من (ظاδ) ومعامل المقاومة للتيار المستمر هى BS 5737 : 1979 .



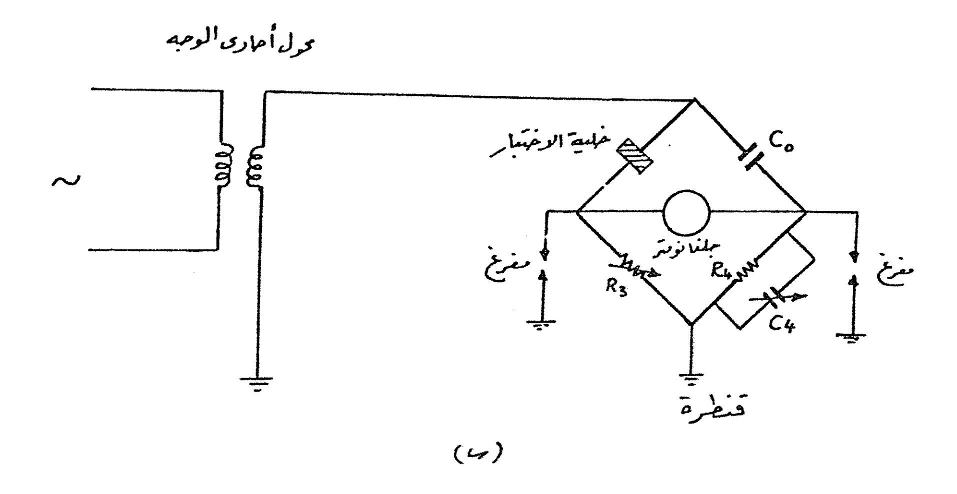
شكل (٧١ - ٢) خلية إختبار تحتاج ٤٥ مللى لتر زيت تقريباً



شكل (٧٢ - ٢) خلية إختبار ٩٠ مللى لتر زيت تقريباً


ظا δ
٠٫٠٣٠
٠٫٠٢٠
٠٫٠١٠
٠٫٠٠٥
زيت (أ) مستعمل
زيت (ب) مستعمل
زيت (أ) جديد
زيت (ب) جديد
٠
٢٠
٤٠
٦٠
٨٠
درجة الحرارة °م

(أ)


محول أحادي الوجه
~
خلية الاختبار
C_0
جلفانومتر
R_3
R_4
C_4
مفرغ
مفرغ
قنطرة

(ب)

شكل (٧٣ - ٢)

عينة الزيت *Sampling*

يجب اجراء كشف على زيت المحولات ، على الأقل ، مرة كل سنة .

يجب ان يكون اناء العينة نظيفاً وكذلك السدادة الخاصة بالاناء .

حجم العينة يعتمد على نوع الاختبار ، فمثلاً فى جميع أنواع الاختبارات العادية تؤخذ عينة زيت حوالى ٥٠٠ مللى لتر ، ولكن لاجراء اختبار الحموضة يحتاج لعينة ١٠٠ مللى لتر . يجب حماية عينة الزيت من تلوث البيئة المحيطة ، ويجب ان تكون السدادة من النوع المحكم الغلق وعلى ذلك يجب حماية الزيت حتى يتم اعادة غلق الاناء .

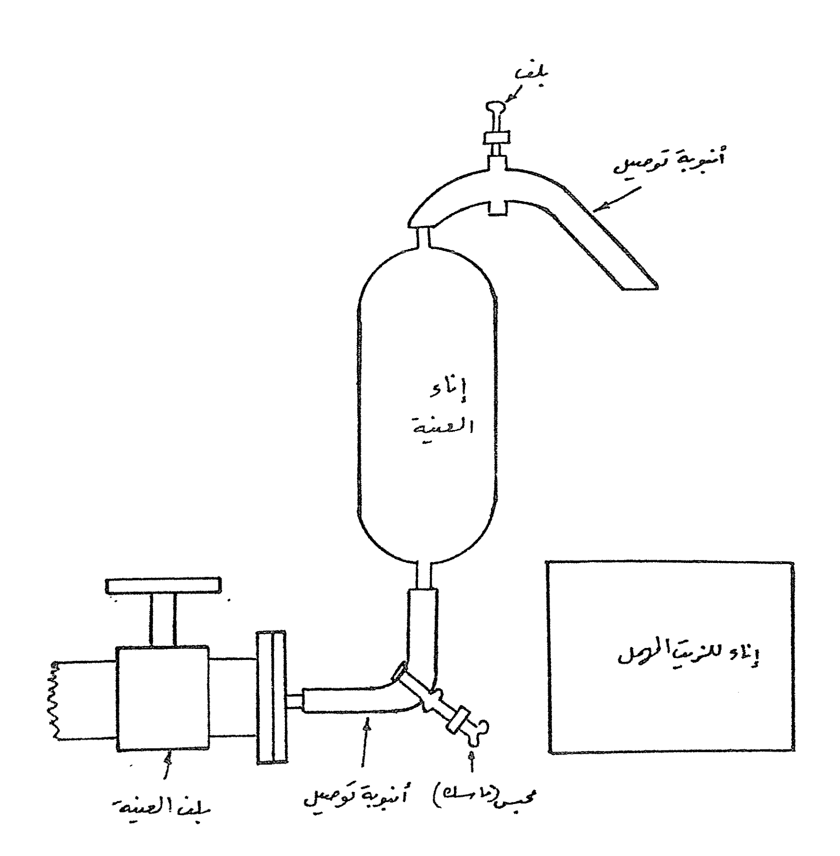
يتم أخذ عينة الزيت من أسفل المحول عن طريق محبس استصفاء *(Drain Cock)*. بعد تنظيف المحبس ، ان أمكن ، بورق تنظيف خاص للتخلص من أية ألياف عالقة ، لاتؤخذ أول كمية من الزيت عند فتح المحبس ، وانما ، تؤخذ عينة الزيت اللازمة بعد ذلك .

يوجد طرق مختلفة لأخذ عينات الزيت ، ابسط هذه الطرق الطريقة المذكورة بالمواصفات القياسية العالمية *IEC* والموضح بشكل (٧٤ – ٢) أ يكون وعاء العينة اما من الزجاج او المعدن وحجمة من ٢٥٠ مللى لتر الى ١ لتر ، ويتصل بالوعاء من الجانبين انبوبتين تحتوى كل منهما على محبس *(Stop Cocks)* أو محبس بقرص *(Pinch Cocks)*.

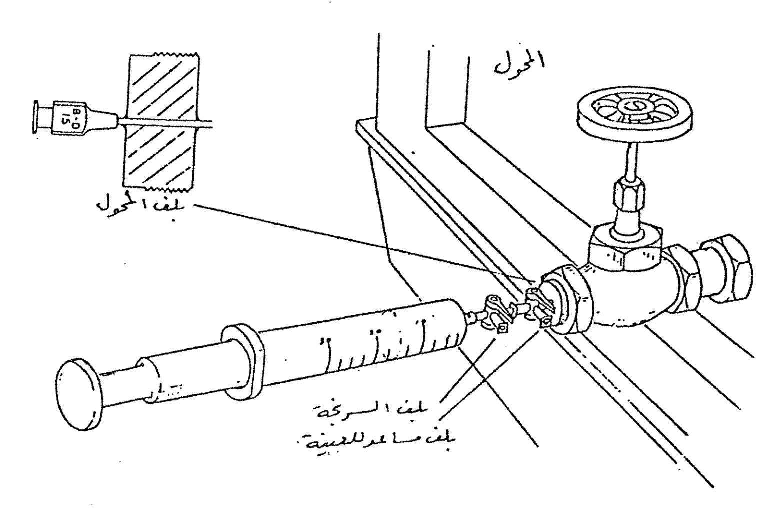
اصبحت الطريقة الحديثة لأخذ عينة الزيت هى استخدام سرنجة زجاجية عادية من النوع كبير الحجم حوالى ١٠٠ سم٣ يجب التأكد، قبل استخدامها ، من نظافتها وذلك بغسلها بنفس زيت المحول ، كما يجب التأكد من سلامة حركة المكبس الخاص بها ، ثم يتم توصيلها كما فى شكل (٧٤-٢) ب من خلال بلف المحول . يعتمد مكان وعدد العينات المأخوذة من زيت المحول على الغرض من أخذ العينة . فمثلاً العينات اللازمة لعمل تحليل غازات يجب أن تؤخذ من الاماكن الموضحة بشكل (٧٥ – ٢) أ حيث تم أخذ ثلاثة عينات ، من جهاز تجميع الغازات ومن أعلى مستوى للزيت ومن أسفل مستوى للزيت .

وعند الشك فى حدوث قصر داخلى تؤخذ عينتين من أعلى واسفل مستوى للزيت كما فى شكل (٧٥ – ٢) ب . بينما تؤخذ عينة واحدة عند اجراء الاختبار الدورى للزيت ، إما من اسفل او اعلى مستوى زيت المحول كما فى شكل (٧٥ – ٢) جـ .

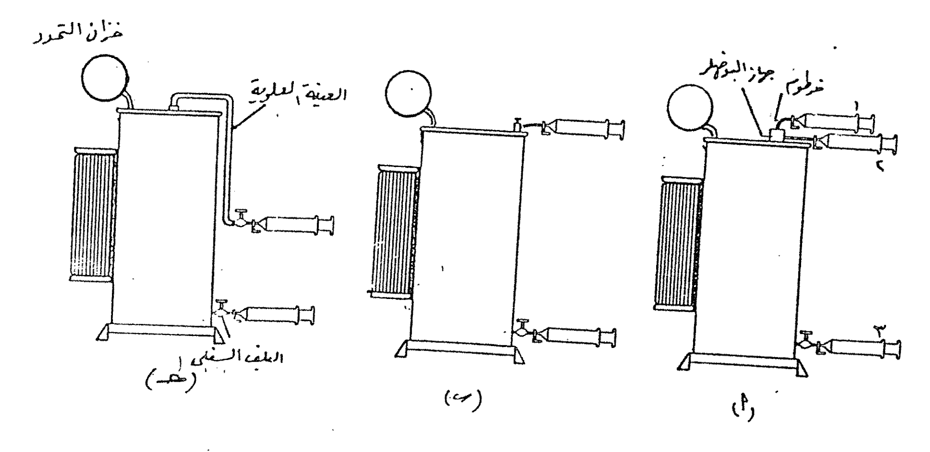
شكل (٧٦ – ٢) يوضح الخطوات التفصيلية لأستخدام السرنجة مع ملاحظة الا يتعدى ملئ السرنجة أكثر من ٢٧ سم٣ .


بلف
أنبوبة توصيل
إناء العينة
إناء للزيت الموصل
بلف العينة
أنبوبة توصيل
محبس (ماسك)

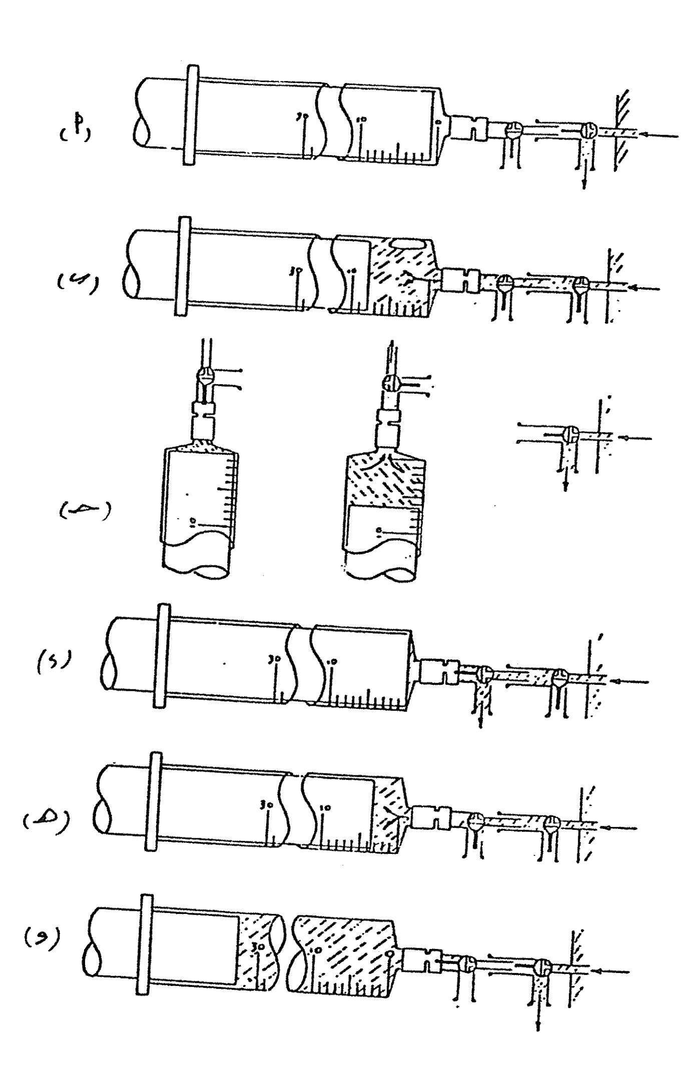
شكل (٧٤ - ٢)أ



شكل(٧٤ - ٢) ب



شكل (٧٥ - ٢)



شكل (٧٦ - ٢)

عمر المحول *Transformer Age*

يجب ان تتصف جميع الزيوت العازلة للكهرباء بثبات خصائص الزيت ، والتى يمكن ان تتغير مع مرور الزمن اى مع قدم الزيت .

يستدل على قدم الزيت بمقدار أكسدته بأكسچين الجو . ويزداد هذا التأكسد بالعوامل الآتية :

- ارتفاع درجة حرارة تشغيل المحول
- نتيجة لتأثيرالمحفزات المعدنية مثل النحاس والحديد والمعادن الاخرى
- وجود المياه فى الزيت

الاختبارات الحديثة تعرف المحولات بأنها غير قديمة ، اذا كانت حموضة الزيت منخفضة ، وله درجة تشبع عاليه ، بين ١٠٠ - ١٨٠ جزء من المليون عند ٢٠° م ، بالمقارنة بالقيم القياسية البريطانية *Bs 148* وهى ٤٥ جزء من المليون عند ٢٠° م .

تقاس الرطوبة النسبية *(Relative Humidity)* ويرمز لها بالرموز (R.H) ، لزيت العزل ، وهى تعطى دلالة هامة للعزل السليولوزى ، بمعنى مقاومة العزل ، نسبة محتوى المياه ، الاستقرار الحرارى . إذا كانت كمية محتوى المياه ثابته فى المادة العازلة الصلبة فان (R.H) لاتعتمد على درجة الحرارة .

تعرف وحدات (R.H) بالرموز p.g / p.g.s حيث :

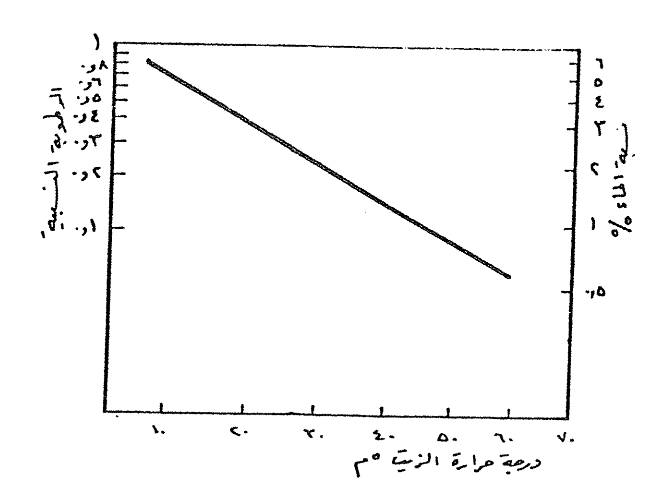
p.g قياس ضغط بخار الماء عند درجة حرارة معينة

p.g.s تشبع ضغط بخار الماء عند نفس درجة الحرارة .

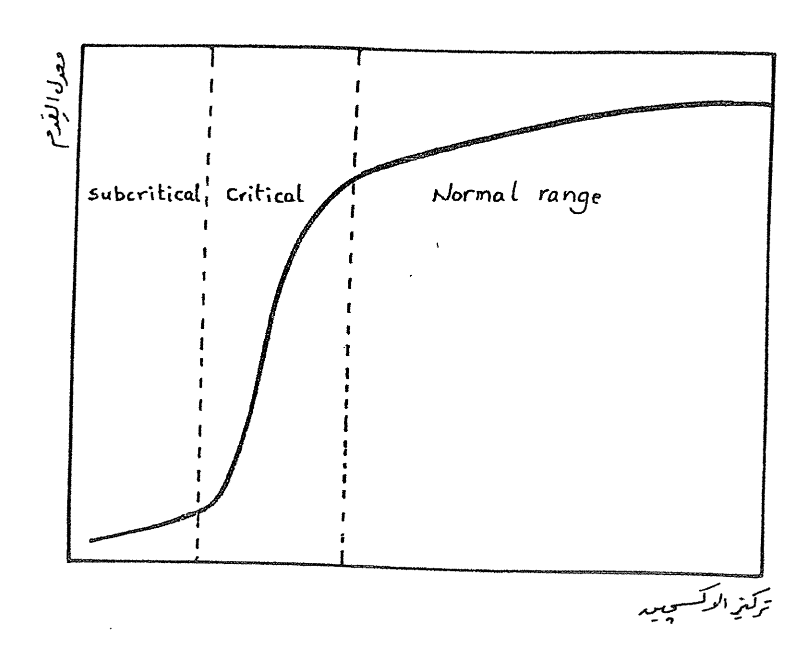
شكل (٧٧-٢) يوضح العلاقة بين (R.H) ودرجة حرارة محول (١٣٢ ك.ف) ، شكل (٧٨-٢) يوضح معدل القدم بدلالة تركيز الاكسچين .

تقادم الزيت *Ageing Of Oil*

خلال عمر التشغيل العادى للزيت وخاصة عند درجات الحرارة العالية ، تطلق الغازات الهيدروكربونية ، واكسيد الكربون ، بالأضافة إلى منتجات أكسيدية . شكل (٧٩-٢) يوضح العلاقة بين تركيز الغازات بالزيت وعمر الزيت (تقادمة) .



شكل (٧٧ - ٢) العلاقة بين الرطوبة النسبية ودرجة الحرارة لمحول ١٣٢ ك.ف.

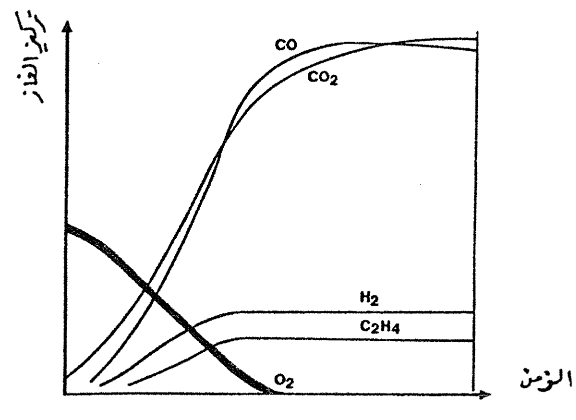


شكل (٧٨ - ٢) معدل القِدَمْ بدلالة تركيز الاكسجين

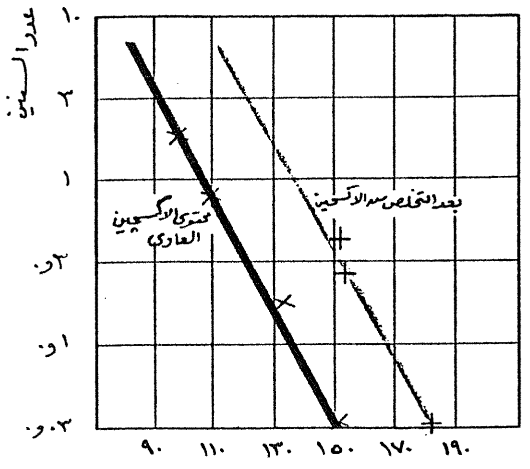
تقادم المواد السليولوزية *Ageing Of Cellulose*

تقل قوة العزل الميكانيكية للملفات نتيجة قدم المواد السليولوزية . معدل التقادم للمواد السليولوزية والزيت متشابهان .

شكل (٨٠-٢) يوضح العلاقة بين تقادم المواد السليولوزية بدلالة الزمن مع درجة الحرارة



شكل (٧٩ - ٢) العلاقة بين تركيز الغازات بالزيت وعمر الزيت



شكل (٨٠ - ٢) العلاقة بين تقادم المواد السليولوزية بدلالة الزمن مع درجة الحرارة

٤ - ٢ تجفيف المحولات *Drying Out Of Transformers*

تتم اجراءات عمليات التجفيف لجميع المحولات بعد تركها للمصنع الذى انتجها ، حيث ينتج عن عمليات النقل والتخزين للمحولات أن تمتص نسبة من الرطوبة.وعلى هذا يجب اجراء عمليات التجفيف لها عند بداية تشغيلها ، للتخلص من أية نسبة رطوبة فى الزيت أو العوازل لضمان أمان التشغيل ، ثم تجرى الاختيارات اللازمة للتأكد من أنه تم التخلص من الرطوبة فعلاً

تجفيف الزيت والملفات :

اذا تم نقل أو شحن المحول وهو مملوء بالزيت ، فيجب فى هذه الحالة اجراء اختبار انهيار العزل لعدد ٤ أو ٥ عينات زيت يؤخذ من اسفل الخزان الرئيسى . تحدد صلاحية العزل كالآتى :

- اذا كان متوسط نتائج اختبار انهيار العزل لايقل عن ٢٢ ك.ف.

(عند فجوة مقدارها ٢,٥ سم) ، فان هذا يشير الى أن العوازل والزيت فى حالة تشغيل جيد .

- اذا كان متوسط نتائج اختبار انهيار العزل يقل عن ٢٢ ك. ف. يجب فى هذه الحالة أجراء تجفيف الزيت .

اذا تم شحن المحول بدون زيت ، أو كان مملوءاً بغاز نيتروچين جاف فانه فى هذه الحالة يحتاج الى تجفيف عند وصوله الى موقع التركيب .

يتم عادة قياس مقاومة العزل للمحولات حيث انها تعطى دلالة تقريبية لحالة المحول من حيث احتياجه لعمليات التجفيف .

مقاومة العزل Insulation Resistance

تتناسب قيمة مقاومة العزل تناسباً عكسياً مع درجة الحرارة ، فتكون قيمة مقاومة العزل عندما يكون المحول بارداً أكبر من قيمتها والمحول ساخن ، كذلك تكون قيمة مقاومة العزل والمحول بدون زيت أكبر من قيمتها والمحول مملوء بالزيت . وقياساً على ذلك يجب أن يتم قياس مقاومة العزل عند حالة معينة وهى : درجة الحرارة ٢٠ °م ، يجب ملء المحول بزيت محولات جاف وفى حالة جيدة .

جدول رقم (٨-٢) يوضح قيمة مقاومة العزل فى الزيت عند درجة حرارة ٢٠ْ م ، المقابلة لقيمة الجهد العادى (خط / خط) (Line to line)

جدول (٨-٢) أقل قيمة لمقاومة العزل فى الزيت (٢٠ْ م)

جهد الخط (ك. ف.)	مقاومة العزل (ميجا أوم)
١,٢	٣٢
٢,٥	٦٨
٥	١٣٥
٨,٦٦	٢٣٠
١٥	٤١٠
٢٥	٦٧٠
٣٤,٥	٩٣٠
٤٦	١٢٤٠
٦٩	١٨٦٠
٩٢	٢٤٨٠
١١٥	٣١٠٠
١٣٨	٣٧٢٠
١٦١	٤٣٥٠
١٩٦	٥٣٠٠
٢٣٠	٦٢٠٠
٢٨٧	٧٧٥٠
٣٤٥	٩٣٠٠

اذا لم يتم قياس مقاومة العزل عند ٢٠ْ م يمكن فى هذه الحالة تصحيح قيمة مقاومة العزل المقاسة ، وذلك باستخدام جدول رقم (٩-٢) ، على أن يتم ضرب قيمة المقاومة المقاسة فى معامل التصحيح المقابل لدرجة حرارة المحول اثناء القياس . أما فى حالة قياس مقاومة العزل ، وكان المحول خالياً من الزيت ، فان القيمة المقاسة يجب قسمتها اولاً على ٢٠،ثم

عمل تصحيح بمعامل التصحيح لدرجة الحرارة.للتخلص من معامل التصحيح عندما تكون قيمته كبيرة ، يجب ان تكون درجة حرارة المحول بين ٤٠° م ، صفر° م . جدول رقم (٩-٢) يوضح قيم معامل التصحيح لدرجات الحرارة .

جدول (٩-٢) قيم معامل تصحيح درجة الحرارة لقياس مقاومة العزل .

درجة حرارة المحول (م°)	معامل التصحيح	درجة حرارة المحول (م°)	معامل التصحيح
٩٥	٨٩	٤٥	٤,٥
٩٠	٦٦	٤٠	٣,٣
٨٥	٤٩	٣٥	٢,٥
٨٠	٣٦,٢	٣٠	١,٨
٧٥	٢٦,٨	٢٥	١,٣
٧٠	٢٠	٢٠	١,٠
٦٥	١٤,٨	١٥	,٧٣
٦٠	١١	١٠	,٤٥
٥٥	٨,١	٥	,٤
٥٠	٦	٠	٠,٣
		-٥	٠,٢٢
		-١٠	٠,١٦
		-١٥	٠,١٢

طرق قياس مقاومة العزل

١ - استخدام ميجر *Megger*

من الطرق السهلة والاكثر شيوعاً لقياس مقاومة العزل مباشرة ، بالميجا أوم هى استخدام ميجر .

لقياس مقاومة العزل نتبع الخطوات التالية :

- التأكد من أن الخزان والقلب مؤرضين

- يتم عمل دائرة قصر بين أطراف كل ملف .

- يتم قياس مقاومة العزل بين أطراف ملف وأطراف الملفات الأخرى بعد تأريضها .

إذا كانت توصيلة ملفات المحول مؤرضة مباشرة مع الارض ، فيجب أولاً فك هذا الارض قبل قياس مقاومة العزل . اذا كانت توصيلة الارضى لا يمكن فكها . كما فى حالة بعض الملفات ، التى تكون نقطة التعادل لها مؤرضة مباشرة مع الارض ، فلا يمكن فى هذه الحالة قياس مقاومة عزل الملفات .

لو اعتبرنا محولاً يحتوى على ملفين : ملف جهد عالي و ملف جهد منخفض فلقياس مقاومة عزل ملف الجهد العالى ، فانه يتم عمل دائرة قصر بين أطراف ملف الجهد العالى (الثلاثة أوجه) وعمل دائرة قصر اخرى مع الارض بين اطراف ملفات الجهد المنخفض (الثلاثة اوجه) ، ثم يتم قياس مقاومة العزل بين أطراف ملف الجهد العالى وأطراف ملف الجهد المنخفض المؤرض ويتم عكس التوصيلات على ملفات المحول عند قياس مقاومة عزل ملف الجهد المنخفض ، كما فى شكل (٨١-٢) أ ، ب ، جـ .

يجب الا يقل جهد مخرج الميجر عن ٥٠٠ ڤولت .

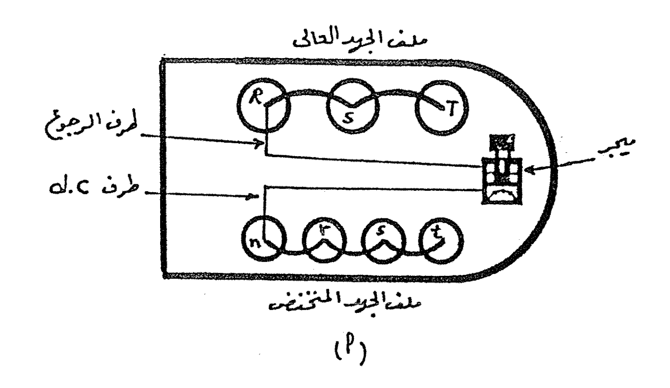
يوجد بالميجر محرك ، وهو اما أن يدار باليد ، أو عن طريق دائرة موحد كهربى داخلية ، يجب أن تؤخذ قراءة الميجر بعد مرور دقيقة واحدة من عملية إدارة المحرك ، بمعنى آخر يجب أن يستقر الجهد الخارج من الميجر لمدة دقيقة واحدة ، قبل تسجيل قراءة مقاومة العزل . فى حالة استخدام الميجر ذات اليد فانه يمكن أخذ القراءة بعد نصف دقيقة لصعوبة استمرار الدوران أحياناً لمدة دقيقة واحدة .

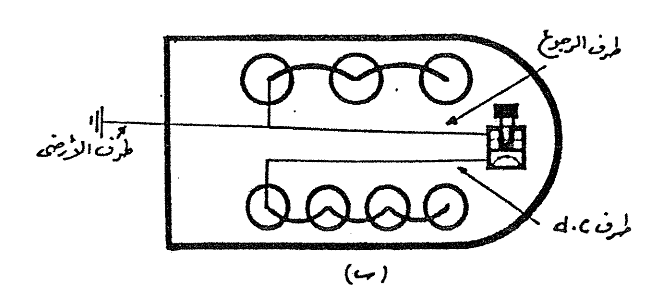
٢ - الاستدلال بمعامل قدرة العزل *Insulation Power Factor*

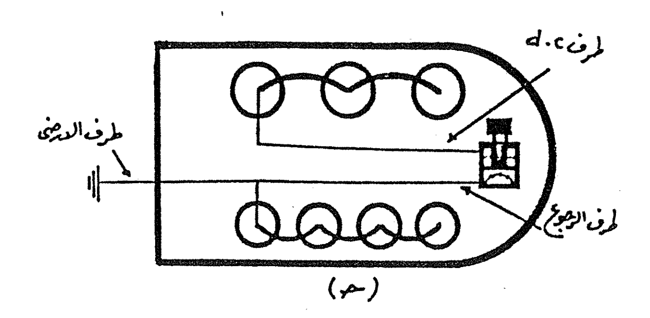
يتم اختبار معامل قدرة العزل اما باستخدام قنطرة خاصة أو بواسطة استخدام طريقة فولت امبير - وات لاعطاء دلالة لحالة الرطوبة فى العزل . اذا كانت قيمة معامل قدرة العزل ٥٠ ٪ أو أكثر فإن هذا يشير الى وجود رطوبة فى العزل .

طرق التخفيف Methods of Drying out

ان الغرض الاساسى من عمليات تجفيف المحولات هو التخلص من الرطوبة الموجودة فى المواد العازلة داخل المحول


ملف الجهد العالى
طرف الرجوع
طرف d.c
مبحث
ملف الجهد المنخفض
(أ)


طرف الرجوع
طرف الأرضى
طرف d.c
(ب)


طرف d.c
طرف الأرضى
طرف الرجوع
(حـ)

شكل (٨١-٢)

الطرق المستخدمة للتجفيف

١ – التجفيف باستخدام تسخين داخلى

٢ – التجفيف باستخدام تسخين خارجى

٣ – التجفيف باستخدام تسخين وتفريغ تحت ضغط .

اذا كانت الظروف تسمح بإختيار طريقة التجفيف ، فيكون ترتيب افضلية الاختيار ٣ ثم ٢ ثم ١ .

فى الطريقتين ١ ، ٢ يكون معدل التجفيف بطىء بالمقارنة بالطريقة ٣ .

عموماً يجب الا يقل زمن التجفيف عن ٧٢ ساعة ويمكن ان تصل فى بعض الحالات الى أربعة أو خمسة اسابيع ، على حسب كمية الرطوبة الموجودة ، ونوع وحجم المحول ، وطريقة التجفيف المستخدمة .

١– التخفيف باستخدام التسخين الداخلى

Drying Out By Internal Heat

يتم التسخين الداخلى بامرار تيار متردد بالمحول وهو مملوء بالزيت مع ترك فتحة الدخول (Manhole) مفتوحة لتسمح بدوران الهواء فى حيز الهواء ، فوق سطح الزيت ، بالمحول ، وللحصول على تيار متردد يتم عمل الآتى :

أ – نقوم بعمل دائرة قصر لملفات الجهد المنخفض .

ب – يتم تسليط جهد على ملفات الجهد العالى بقيمة حوالى ٠,٥ الى ١,٥ ٪ من الجهد المقنن للملفات عند التردد المقنن ، فيكون التيار المار حوالى ١/٥ تيار الحمل الكامل للمحول ، وهذا يكفى للوصول بدرجة حرارة الملفات الى قيمة من ٨٠° م الى ٩٠° م .

جـ – تلغى وسيلة التبريد المستخدمة سواء كانت أنابيب تبريد أو مشعات حتى تمنع دورة الهواء ، وبالتالى تمنع فقد الحرارة .

يلاحظ انه يجب استخدام الاطراف النهائية وليس أطراف نقط التقسيم (Tappings)، حتى يمر التيار فى كل الملف . كما يمكن التحكم فى قيمة التيار المار بالملفات بإضافة مقاومة متغيرة أو إضافة منظم على التوالى مع دائرة ملفات الجهد العالى ، هذه الطريقة

بطيئة جداً وتستخدم مع المحولات الصغيرة فقط .

شكلى (٨٢-٢) ، (٨٣-٢) يوضحان طريقة التجفيف بالتسخين عن طريق عمل دائرة قصر للفات الجهد المنخفض للمحول - وتسليط جهد خارجى اما أحادى الو جه أو ثلاثى الاوجه . يتم توصيل اميبرمتر - فولتميتر - مصهرات فى دائرة ملفات الجهد العالى . ويجب قياس درجة حرارة الزيت على فترات أثناء عملية التجفيف ويكون ذلك باحدى الطريقتين الآتيتين :

أ - وضع ترمومتر فى الزيت لقياس درجة الحرارة ، ويفضل استخدام ترمومتر كحولى اما اذا تعذر ذلك ، يمكن استخدام ترمومتر زئبقى ، ولكن يراعى أن يكون بعيداً عن تأثير المجال المغناطيسى المتسرب ، بمعنى آخر فان تأثير التيارات الاعصارية يؤثر فى الزئبق ويعطى قراءة اكبر من القراءة الحقيقية لدرجة حرارة الزيت .

ب - يتم قياس المقاومة على فترات باستخدام دائرة تيار مستمر ، ويلاحظ أنه يجب فصل دائرة التسخين أثناء توصيل دائرة قياس المقاومة .

وباستخدام المقاومة المقاسة يتم حساب درجة الحرارة المقابلة من العلاقة :

$$T_2 = \frac{R_2}{R_1} (235 + T_1) - 235$$

تطبق المعادلة اذا كانت الملفات من النحاس ، اما اذا كانت من الالومنيوم فان العدد ٢٣٥ يستبدل بالرقم ٢٢٥ .

حيث

T_1= درجة حرارة الملفات وهى باردة (درجة مئوية)

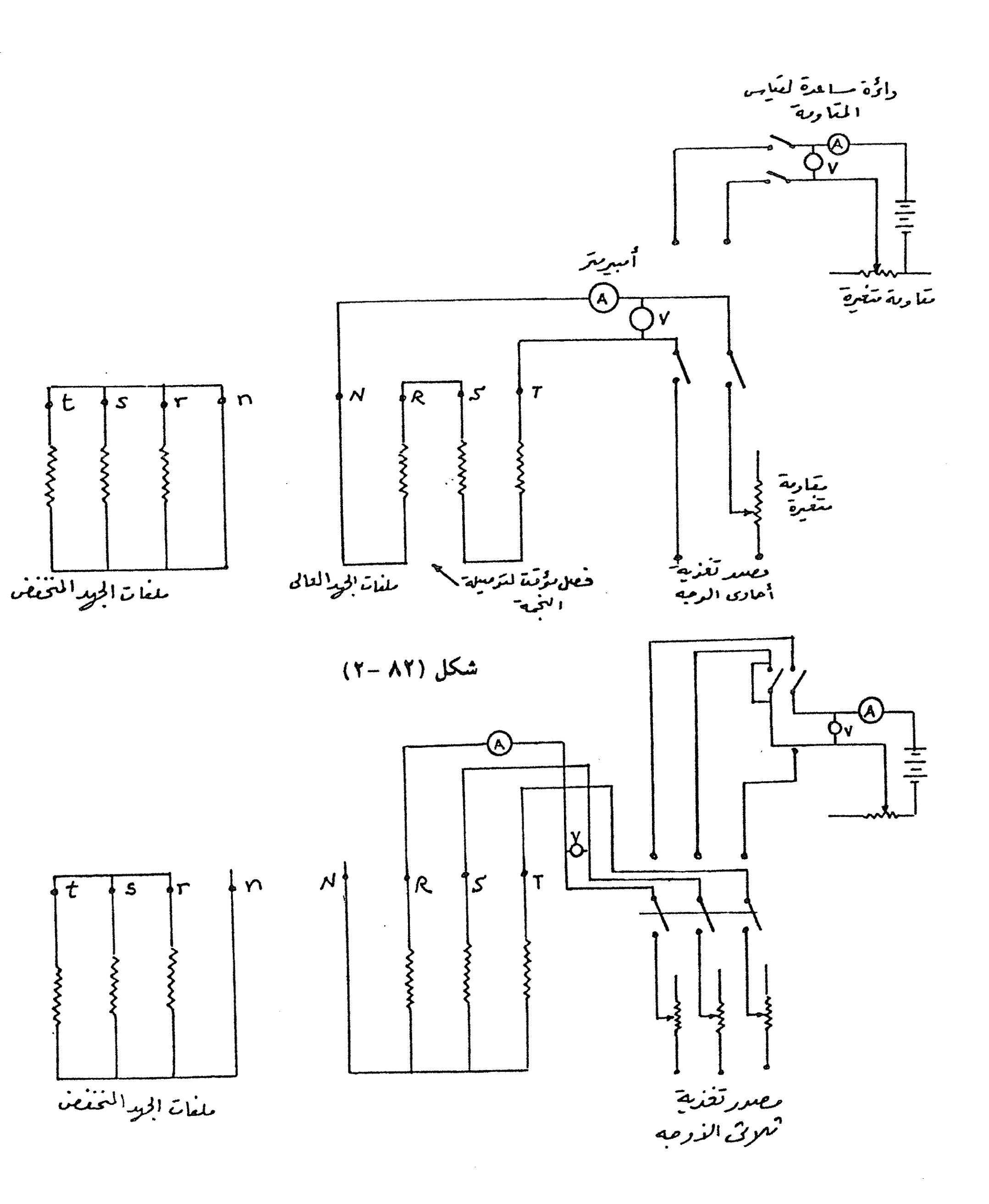
T_2= درجة حرارة الملفات وهى ساخنة (درجة مئوية)

R_1 = مقاومة الملفات المقاسة والملفات الباردة

R_2 = مقاومة الملفات المقاسة والملفات ساخنة

الارتفاع فى درجة حرارة الملفات تساوى $(T_2 - T_1)$

اقصى متوسط درجة حرارة مقاسة يجب الا يزيدعن ٩٥ْم يمكن استخدام نفس الطريقة



شكل (٨٢-٢)

شكل (٨٣-٢)

اذا أريد تجفيف المحول وهو خارج الخزان ، اى بدون زيت ، ولكن يلاحظ تقليل قيمة جهد مصدر التغذية فقط .

شكل (٨٤-٢) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة (درجة مئوية) وبين محتوى المياه بزيت المحول عند حالة التشبع .

فى حالة المحولات الكبيرة المملوءة بالزيت يتم التسخين باستخدام قياس سخان كهربى زيتى (*Oil Immersion Heating*) ، وهو عبارة عن صندوق معدنى مانع لتسرب الزيت ، يحتوى على فتحة سفلية لدخول الزيت ، وفتحة علوية فى الاتجاه المعتاد لخروج الزيت ، وعنصر التسخين ، المثبت فى أعلى الصندوق ، يتم توصيل السخان مع المحول من خلال مرشح ومضخة .. بحيث يمر الزيت اولاً على مرشح ، للتخلص من أية شوائب ، ثم تقوم المضخة بدفعه الى الفتحة السفلية للسخان ، ثم يخرج من الفتحة العلوية ومنه الى أعلى المحول .

تستخدم مضخة بقدرة كافية لاستكمال دورة الزيت فى حوالى ساعة تقريباً. قدرة السخان يجب أن تكون حوالى ١,٢٥ مرة من قيمة الاشعاع المقدر للخزان ، بالاضافة الى كمية الحرارة المتبددة عند درجة حرارة الخزان ٨٥° م . يمكن اعتبار كمية الحرارة المتبددة ٠,٧٥ وات / بوصة مربعة من مساحة السطح البارد المؤثر ، وهى عبارة عن المساحة الكلية لحوائط الخزان ، بالاضافة لمساحة السطح العلوى للمحول . كذلك يمكن أعتبار الحمل الكهربى ١ وات / بوصة مربعة ، بفرض فقد جزء من الحرارة فى المواسير والسخان .

يراعى الا تزيد درجة حرارة السخان عن ٩٠° م ، ولذلك يجب قياس درجة الحرارة فى الجزء العلوى من الزيت بوساطة ترمومتر، او ازدواج حرارى . يتم فصل السخان عن طريق استخدام دوائر تحكم للحفاظ على درجة حرارة السخان ، وبالتالى درجة حرارة الزيت .

تجهز دوائر ترابط (أنترلوك) بين مصدر تغذية المضخة وبين دائرة تشغيل السخان بحيث تفصل التغذية عن السخان عند انقطاع مصدر تغذية المضخة آلياً ، وذلك تجنباً لحدوث زيادة غير مرغوبة فى درجة حرارة الزيت ، اذا توقفت المضخة عن العمل .

للاسراع فى عملية التجفيف يمكن استخدام تفريغ باستخدام ضغط تفريغ عالى(*High Vacuum*) (٢٨ بوصة زئبق أو اكثر) على أن يتحمل المحول الضغط المستخدم .

كذلك يمكن استخدام مرشح ضاغط *(Filter Press)* للزيت ويراعى عدم وضعه فى مسار الزيت الساخن ، وتكون قدرة المرشح حوالى ١٠ جالون فى الدقيقة *(GPM)* أو أقل .

خلال عملية التجفيف تسجل القراءات التالية على فترات منتظمة :

– مقاومة العزل بين ملفات الجهد العالى والجهد المنخفض وبين كل ملف والارض

– درجة الحرارة

– انهيار عزل الزيت .

يمكن تلخيص عملية التجفيف مرحلياً كالآتى :

أ – مرحلة ارتفاع درجة الحرارة ، ابتداءاً من درجة الحرارة المحيطة الى أقصى درجة حرارة مسموح بها لعملية التجفيف ، وتكون هذه فترة قصيرة نسبياً ، وتهبط فيها مقاومة عزل الملفات .

ب – دورة التجفيف الحقيقية ، وهى فترة طويلة ، وفيها تكون درجة الحرارة ثابتة وكذلك مقاومة العزل ثابتة تقريباً وتبدأ مقاومة العزل فى الارتفاع فى نهاية الدورة .

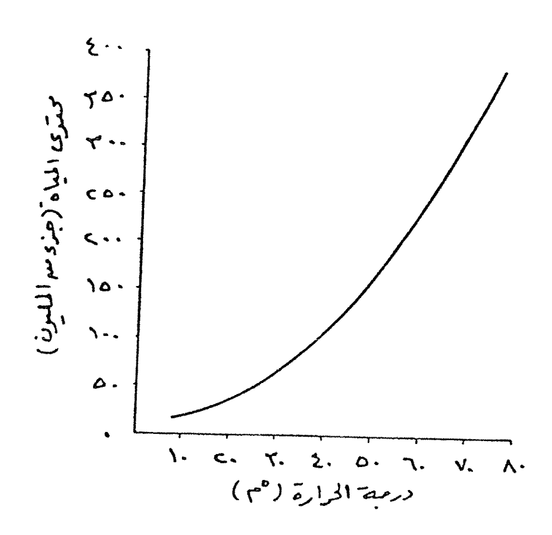
جـ – المرحلة النهائية ، وهى عبارة عن دورة قصيرة ، حـ ث يم فصل مصدر التسخين ، فتبدأ درجة الحرارة فى الانخفاض ، وترتفع مقاومة العزل .

شكل (٨٥–٢) يوضح منحنيات التجفيف لمحول ٥٠٠ ك. ف. أ. ثلاثة أوجه التردد ٥٠ هرتز ، موضحاً بها مراحل التجفيف المختلفة من حيث منحنى العلاقة بين الزمن ودرجة حرارة الزيت ، ومنحنى العلاقة بين الزمن ومقاومة العزل .

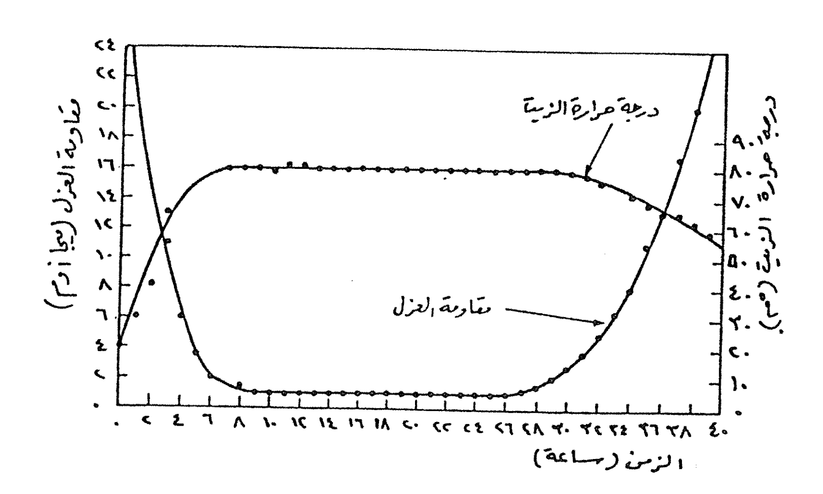
٢ – التجفيف باستخدام التسخين الخارجى

Drying Out By External Heat

اذا كان المحول غير مملوء بالزيت ، ويراد تجفيف الملفات ، فانه يمكن تسليط هواء ساخن على الملفات ، داخل الخزان من مصدر خارجى ، مع استخدام مراوح للحصول على تيار هواء خلال الملفات.بمعنى آخر يجب دفع الهواء الساخن ، بقدر الامكان ، خلال مواسير تبريد الزيت الموجودة بالملفات والعزل . ومن الضرورى وضع الواح عارضة (حواجز) .بين القلب والملفات ، وبين الملفات وحائط الخزان ، لمنع تسرب الهواء بقدر



شكل (٨٤ -٢)



شكل (٨٥ -٢) منحنيات التجفيف

الامكـان ، ولدفع الهواء الساخن الى أعلى خلال مواسير التبريد . كما يجب أن تكون مروحة دفع الهواء الساخن *(Blower Fan)* ذات قدرة كافية لدفع الهواء ، تقدر بواحد قدم مكعب من الهواء الحر / الدقيقة لكل ١٠ ك. ف. أ. من قدرة المحول .

يتم دخول الهواء الساخن من فتحات لايقل مساحة مقطعها عن ٢٠ بوصة مربعة لكل ١٠٠٠ قـدم مكـعب / الدقيقـة مـن مصـدر الهـواء.يتـم خروج الهـواء من الفتحـة العلوية *(Manhole)* ويجب الا تقل مساحة مقطعها عن مساحة مقطع فتحات دخول الهواء .

يجب أن تقدر حرارة سخان الهواء بحوالى ٢,٤٤ وحدة الحرارة البريطانية / الدقيقة لكل قدم مكعب / الدقيقة للهواء المندفع ، تقدر قدرة سخان الهواء بحوالى ٤٣ وات لكل قدم مكعب / الدقيقة للهواء المندفع .

يفضل أن يتم دخول الهواء الساخن من أكثر من فتحة ، ويدفع الهواء بقوة حتى يكون الهواء فى حالة تقليب مستمر ، ويتجدد الهواء دائماً .

مثال : محول قدره ٣٠,٠٠ ك . ف . أ . يراد معرفة كيفية التجفيف باستخدام التسخين الخارجى .

أقل قدره نفخ هواء يحتاجها المحول ٣٠٠٠ قدم مكعب / الدقيقة .

أقل مجموع مساحات مقطع فتحات دخول الهواء ٦٠ بوصة مربعة .

الفتحة العلوية *(Manhole)* لخروج الهواء ذات ١٦ بوصة قطر أى بمساحة مقطع ٢٠١ بوصة مربعة .

يتم اختيار طريقة تسخين الهواء حسب حالة الموقع والمكان الذى ستتم فيه عمليات التجفيف.من هذه الطرق :

- استخدام السخانات الكهربائية .
- استخدام البخار من خلال مبادل حرارى لتسخين الهواء .
- تسخين غير مباشر بوساطة احتراق الوقود (وقود غازى أو وقود سائل) من خلال مبادل حرارى لتخليص الهواء من منتجات الاحتراق ، واستخدام هواء ساخن نقى داخل المحول .

يراعى الحذر الكامل عند استخدام اى من طرق التسخين منعاً لحدوث اى حرائق نتيجة التلامس مع الملفات مثلاً ..ويجب ألا تزيد درجة حرارة الهواء الساخن عن ٩٠° م ، حتى لايتسبب فى حدوث احتراق ذاتى للزيت ، وعلى ذلك يجب فصل السخان عند الوصول الى هذه الدرجة . ومن الخطأ التفكير فى محاولة عمل اسراع لعملية التسخين ، عن طريق مرور تيار دائرى بملفات المحول ، وهذا يتسبب فى ارتفاع درجة الحرارة، وبالتالى انهيار عزل الملفات ويفضل وجود دائرة تحكم بين السخان ومراوح دفع الهواء الساخن ، بحيث يفصل السخان عند تعطل أو توقف مراوح دفع الهواء ، كذلك يتم فصل السخان اذا ارتفعت درجة الحرارة عن الحد المفروض ، كما يمكن التحكم فى الدوائر يدوياً .

٣ – التجفيف باستخدام التسخين والتفريغ

Drying Out By Heating and Applying Vacuum

هذه الطريقة تجمع بين استخدام التسخين والتفريغ لتجفيف المحولات بطريقة اسرع من الطريقتين السابقتين وخطواتها كالآتى :

أ – يتم التسخين بأحدى الطريقتين السابقتين ، تسخين داخلى أو خارجى ، حتى تصل درجة حرارة الملفات المقاسة من ٨٠°م الى ٩٠° م .

يجب التحكم فى مصدر التسخين بحيث يحافظ على درجة الحرارة هذه على الأقل ٢٤ ساعة . عندئذ يفصل مصدر التسخين عن المحول

ب – يسلط ضغط تفريغ *(Vacuum)* على خزان المحول من خلال مرشح ضاغط *(Filter Press)* او اى صمام علوى فى أعلى الخزان.ويجب تقليل الضغط بالقدر المسموح للحصول على أعلى تفريغ ، (يكون مسجلا على لوحة بيان المحول اقصى وادنى ضغط مسموح به).عندما يكون الخزان تحت ضغط التفريغ ، يجب أن تكون طلمبة التفريغ قادرة على أعطاء ضغط تفريغ مستمر على الاقل ٢٨ بوصة – زئبق لخزان المحول . ويزيد معدل التخلص من الرطوبة عن طريق استعمال تفريغ عالى ، والذى يكون مصحوباً بانخفاض نقطة غليان الماء .

عند وصول درجة حرارة الملفات المقاسة الى ٤٠° م ، يتم فصل طلمبة التفريغ .

جـ – نوقف التفريغ مع استمرار عملية التسخين حتى تصل درجة حرارة الملفات من ٨٠° م

الى ٩٠° م ، عندئذ يتم قياس مقاومة العزل للتأكد من نجاح عملية التجفيف .

تكرر الخطوات أ ، ب ، جـ أى التسخين ، ثم التفريغ ، ثم التسخين ، وهكذا حتى يشير كل من منحنى التجفيف ، والعلاقة بين مقاومة العزل والزمن ، الى انتهاء تجفيف الملفات والعزل .

يعتمد عدد مرات دورات التجفيف ، والتسخين والتفريغ ، الضرورية على كمية الرطوبة الموجودة فى العازل المراد تجفيفه .

تكون عدد دورات التجفيف على الأقل ثلاثة مرات ، ويكون اقصى عدد سبعة أو أكثر للحالات الكبيره ، بينما يتراوح زمن التجفيف بين اسبوع واسبوعين أو اكثر معتمداً على عدد دورات التجفيف الضرورية .

ملاحظات :

١ – الزمن اللازم لعملية التجفيف .

لايوجد زمن محدد لعملية تجفيف المحولات ، ولكن يعتمد الزمن على الطريقة المستخدمة لعملية التجفيف ، وحجم المحول ، وجهده . فمثلاً عند استخدام التسخين الداخلى أو الخارجى ، فان الزمن اللازم لعملية التجفيف لا يقل عن اسبوع ويمكن أن يصل الى أربعة اسابيع فاكثر ، بينما تكون عملية التجفيف باستخدام تسخين وتفريغ اكثر سرعة وربما تحتاج الى اسبوع فقط .

عموماً يجب الا يقل زمن التجفيف عن اسبوع .

٢ – تزيد مقاومة العزل المقاسة ، عند درجة حرارة ثابتة ، تدريجياً أثناء عملية التجفيف ، ثم تزداد سرعته فى نهاية دورة التجفيف . فى بعض الاحيان ترتفع وتنخفض مقاومة العزل خلال فترة قصيرة أو أكثر من فترة قبل الوصول الى حالة الاستقرار القصوى ، ويرجع هذا الى خروج الرطوبة من الاجزاء الداخلية للعزل الى الاجزاء الخارجية ، التى تكون قد جفت فى بداية الامر نتيجة تغيير درجات الحرارة يمكن أن يحدث تغيير كبير فى مقاومة العزل المقاسة.تسجل قيمة مقاومة العزل كل أربع ساعات خلال دورة التجفيف ، وفى نهاية كل دورة تسخين ، واذا استخدمت طريقة التفريغ فيجب أن تؤخذ قراءة مقاومة العزل قبل عملية التفريغ .

٣ - منحنى المقاومة ، يتم رسم العلاقة بين مقاومة العزل والزمن بحيث يكون المحور الافقى ممثلاً للزمن بينما يمثل المحور الرأسى مقاومة العزل .

ويجب أن تقاس مقاومة العزل عند درجة حرارة ٢٠° م ، واذا تعذر القياس عند ٢٠° م . فيجب أخذ معامل تصحيح درجة الحرارة فى الاعتبار (جدول (٩-٢))

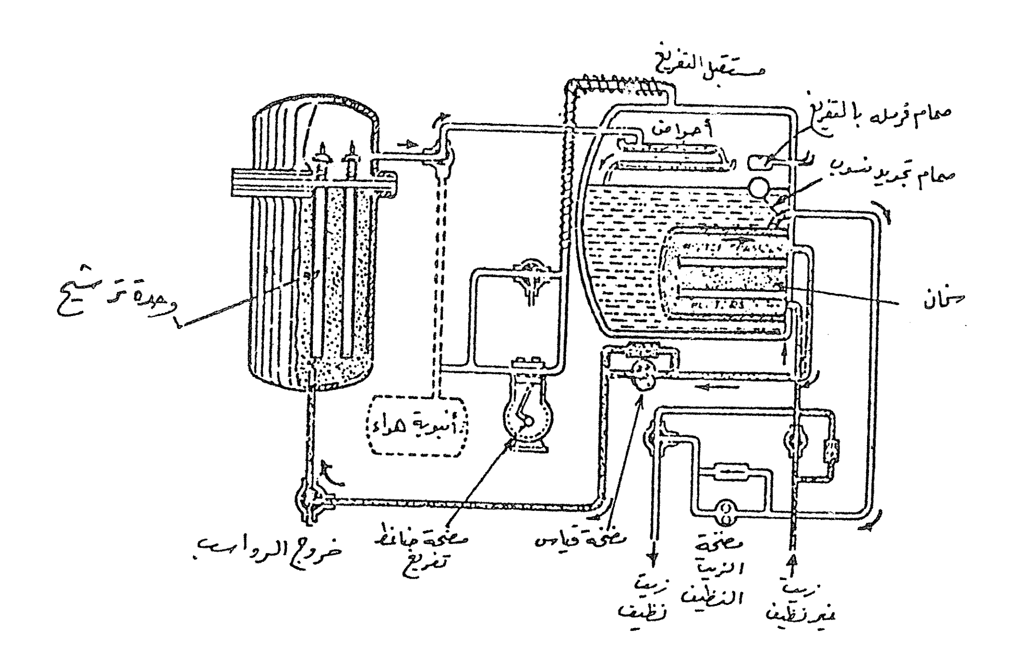
عموماً تتغير قيمة مقاومة العزل فى الجزء الاول من دورة التجفيف تغييراً كبيراً ، ثم تنخفض مقاومة العزل أثناء التخلص من الرطوبة ، ومع استمرار التجفيف ترتفع قيمة مقاومة العزل مرة اخرى ، وذلك خلال اربع قياسات متتالية على الاقل (اى خلال ١٦ ساعة من دورة التجفيف) .

٤ - يجب أن تكون درجة حرارة الملفات أقل من ٩٠° م حتى لا تتعرض المواد الليفية العضوية *(Organic Fibrous)* للافساد . ومن الافضل الحفاظ على درجة حرارة الملفات عند درجة حرارة ٨٠° م أثناء التجفيف ، اى تترك ١٠° م سماحاً لخطأ القياس .

٥ - عند اجراء عمليات التجفيف يجب أخذ الحذر الكامل من حدوث اى اشتعال او حريق ، وعلى ذلك يمنع التدخين أثناء عمليات التجفيف للمحولات . ومن الاساسيات المعروفه أنه يجب أن يجهز المكان بوسيلة اطفاء حريق متنقلة أثناء عملية التجفيف ، يوصى باستخدام غاز خامل لإطفاء الحريق ، فى حالة حدوثه ، مثل ثانى اكسيد الكربون -أو النيتروچين . ولا تستخدم وسائل اطفاء الحريق التالية : رابع كلوريد الكربون - حامض صودا - رغوى - مياه حيث انهاتتسبب فى مخاطر اضافية .

ماكينة ترشيح الزيت *Filtration Plant*

شكل (٨٦-٢) يوضح المكونات الرئيسية لماكينة ترشيح الزيت . تتكون الماكينة من ثلاثة اجزاء رئيسية . تسخين - ترشيح - تجفيف تحت ضغط تفريغ . ويكون الغرض منها التخلص من أى شوائب عالقة بالزيت ، وكذلك التخلص من الرطوبة وتجفيف للزيت ، يتم دخول الزيت ويمر اولاً على سخان *(Immerision Heaters)* ثم يمر على المرشح Filter للتخلص من الشوائب وفى النهاية يمر على غرفة التفريغ للتخلص من الرطوبة ويخرج زيت نقى نظيف من فتحة خروج الزيت .


مستقبل التفريغ
أحواض
سخان
وحدة ترشيح
أنبوبة هواء
خروج الرواسب
مضخة ضاغط تفريغ
مضخة قياس
زيت نظيف
مضخة الزيت النظيف
زيت غير نظيف

شكل (٨٦ -٢)

الباب الثالث

٣-١ المفقودات فى المحول *Transformer Losses*

يمثل الفقد فى المحول دوراً هاماً فى تحديد كفاءة المحول وتنقسم مفقودات المحولات تبعاً للدوائر المكونة للمحولات وهى : دائرة كهربائية ـ دائرة مغناطيسية ـ دائرة العازل .

كل دائرة مسئولة عن جزء من المفقودات توضح كالآتى :

أ – مفقودات الدائرة الكهربائية :

- فقد I^2R نتيجة تيارات الحمل
- فقد I^2R نتيجة تيارات اللاحمل
- فقد التيارات الاعصارية فى الموصلات ، نتيجة مجال التسرب

ب – مفقودات الدائرة المغناطيسية

- فقد التخلف فى شرائح القلب
- فقد التيارات الاعصارية فى شرائح القلب
- فقد التيارات الاعصارية الشاردة فى رباطات ومسامير القلب

جـ – مفقودات دائرة العازل *Dielectric Circuit*

هذا الفقد صغير جداً ، لجميع الجهود حتى ٥٠ ك. ف. ، ويعتبر ضمن مفقودات اللاحمل ، أى ضمن مفقودات الحديد .

تصنف المفقودات بالطريقة الشائعة والمكونة من فقد اللاحمل وفقد الحمل . ويعرف فقد اللاحمل ببساطة بأنه القدره الفعاله التى يستهلكها الملف عند تسليط الجهد المقنن ، بالتردد المقنن ، على نهاية الملف بينما يكون الملف الآخر مفتوح الدائرة . ويعرف فقد الحمل بأنه القدره الفعاله المستهلكة عند تسليط جزء صغير (حوالى ٤ ٪) من الجهد المقنن ، بالتردد المقنن ، بحيث يمر التيار المقنن ، بكل من الملفين ، بينما تكون نهاية الملف الآخر مقصورة بدائرة قصر ، وترتبط هذه القيمة بدرجة حرارة الجو المحيط . ويكون الفقد الكلى هو مجموع فقد اللاحمل وفقد الحمل

تتكون مفقودات اللاحمل (تعرف أيضاً بمفقودات الحديد أو مفقودات القلب) من :

١ - فقد I^2R نتيجة تيار اللاحمل

٢ - فقد التخلف فى شرائح القلب

٣ - فقد التيارات الاعصارية فى شرائح القلب .

٤ - فقد التيارات الاعصارية الشاردة فى رباطات ومسامير القلب .

تتكون مفقودات الحمل (تعرف أيضاً بمفقودات النحاس او مفقودات دائرة القصر) من :

١ - فقد I^2R نتيجة تيارات الحمل

٢ - فقد التيارات الاعصارية فى الموصلات نتيجة فيض التسرب .

اولاً : مفقودات اللاحمل (أو مفقودات الحديد او مفقودات القلب)

No - Load Losses (Iron Loss Or Core Loss)

(١) فقد I^2R نتيجة تيارات اللاحمل

I^2R Loss Due to No-Load Current

يعرف تيار اللاحمل بأنه التيار الذى يمر فى ملف عندما يسلط عليه الجهد المقنن ، وبالتردد المقنن ، بينما يكون الملف الآخر مفتوحاً . يعبر ، غالباً ، عن تيار اللاحمل للملف بنسبة مئوية من قيمة التيار المقنن لهذا الملف ، وعادة لايتعدى ٥ ٪ من تيار الحمل المقنن ، وفى المحولات الكبيرة لا يتعدى من ١ - ٢ ٪ . وحيث أن الفقد يتناسب مع مربع التيار ، والذى يعتبر صغيراً جداً ، فبذلك يكون الفقد صغير جداً ، ويمكن اهماله . عند تصميم المحولات يؤخذ فى الاعتبار أن تكون كثافة الفيض تحت نقطة التشبع الحرجة *(Critical Saturation Point)* ، وكذلك تصمم شرائح القلب بحيث لاتحتوى على أية ثغرات هوائية غير مرغوبة ، وذلك للحفاظ على قيمة ثابتة تقريباً لتيار اللاحمل ، وذلك بنسبة مئوية من قيمة تيار الحمل الكامل . شكل (١-٣) يمثل منحنى B/H للمحولات ذات صلب مسحوب على البارد ، وفيه نرى انه عند قيمة B_m أكبر من ١,٦ تسلا *(Tesla)* (وبر / متر مربع) فان شدة المجال المغناطيسى (H) ، وهى التى تعتمد مباشرة على تيار المغنطة ، تزيد بسرعة ، وتبعاً لذلك فان كثافة الفيض العادية للمحول عند حالة التشغيل

تكون مساوية لهذه القيمة . (وذلك طبقاً للمواصفات القياسية البريطانية BS) . يجب الاهتمام بهذه الملاحظة فى المحولات الصغيرة ، نظراً لكبر شدة المجال المغناطيسى (امبير / متر) ، حيث يعتمد على متوسط طول الدائرة المغناطيسية ، بالمقارنة بشدة المجال المغناطيسى بالنسبة لملفات الجهد العالى . شكل (٢-٣) يوضح العلاقة بين الفقد لكل كجم وكثافة الفيض (الدرجة H معناها مادة لها فقد أقل من المادة القياسية)

(٢) فقد التخلف فى شرائح القلب

Hysteresis Loss In Core Sheets

يتسبب مرور التيار المتردد فى ملفات المحول فى إيجاد منحنيات التمغنط فى القلب الحديدى ، نتيجة لمرور التيار المتردد فى اتجاه معين ، وانخفاضه ، ثم مروره فى الاتجاه المعاكس . يكون للمنحنيات اتجاهان متضادان ، فكلما تغير اتجاه المغنطة تتغير اقطاب الجزئيات المغناطيسية ، وهذا يؤدى إلى فقد فى قدرة المحول ، ويعرف بفقد التخلف،وهو الذى يتناسب مع التردد وكثافة الفيض المغناطيسى .

لتقليل فقد التخلف ، يجب تقليل وزن المادة المستخدمة فى القلب بقدر الامكان ، وكذلك يجب الا تزيد كثافة الفيض عن قيمة معينة.يمكن الحصول على فقد التخلف من المعادلة الآتية :

$$\text{فقد التخلف} = h\, f\, B_i^{1.6} V 10^{-7} \qquad (١-٣)$$

حيث

h= ثابت التخلف يتراوح بين ٠,٠٠١ الى ٠,٠٠٣

f= التردد

B_i = أقصى كثافة فيض

V= حجم الحديد (سم٣)

(٣) فقد التيارات الاعصاريةفى شرائح القلب

Eddy Current Loss In Core Plates

تعرف التيارات الاعصارية فى القلب الحديدى بأنها التيارات الناتجة فى القلب نتيجة تغير الفيض المغناطيسى ، بأعتبار أن القلب مادة موصلة للكهرباء ، وهذه التيارات

الاعصارية من الاشياء غير المرغوب فيها .

وتعتمد قيمة فقد التيارات الاعصارية على قيمة كثافة الفيض ، ونوع المادة المستخدمة فى شرائح القلب ، وسمك شرائح القلب ، ومدى فعالية المادة العازلة بين شرائح القلب .

يمكن تقليل التيارات الاعصارية اذا كان القلب الحديدى مصنوع من شرائح من الحديد اللين ، حيث تكون كل شريحة معزولة عن الأخرى بمادة عازلة .

شكل (٣-٣) يوضح قلب مصنوع من قطعة واحدة من الحديد ، وأتجاه التيارات الاعصارية بالقلب .

اذا تم تقسيم قطعة الحديد الى جزئين متساويين فسوف يمر نصف التيار فقط فى كل جزء ، وتكون مفاقيد كل جزء تساوى ٤/١ قيمة المفاقيدفى حالة استخدام الجزئين معاً كقطعة واحدة . اذا تم تقسيم القلب إلى ٧ أجزاء متساوية فان ٧/١ التيار يمر فى حالة كل جزء ، وتكون مفاقيد كل جزء متساوية،تساوى ١ / ٤٩ من قيمة المفاقيد فى حالة استخدام القلب كقطعة واحدة ، شكل (٤-٣) يوضح التيارات الاعصارية فى قلب مكون من سبعة شرائح .

عادة يشار الى فقد التخلف مع فقد التيارات الاعصارية فى شرائح القلب ، حيث يتم تسجيل النوعين معاً على منحنيات تورد من الصانع ، حسب نوع المادة المستخدمة فى صناعة شرائح القلب .

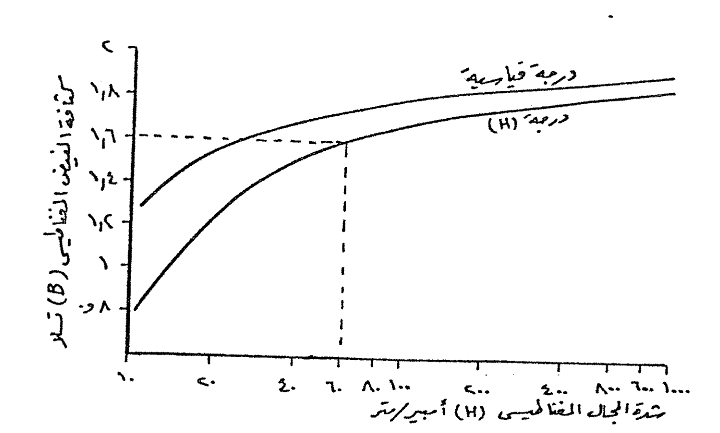
شكل (٥-٣) يوضح العلاقة بين كثافة الفيض والفقد / كجم لقلب مصنوع من صلب مدلفن على البارد .

يمكن تقليل الفقد عن طريق تقليل سمك الشرائح ، ولكن تقليل سمك الشرائح يتسبب فى العيوب التالية :

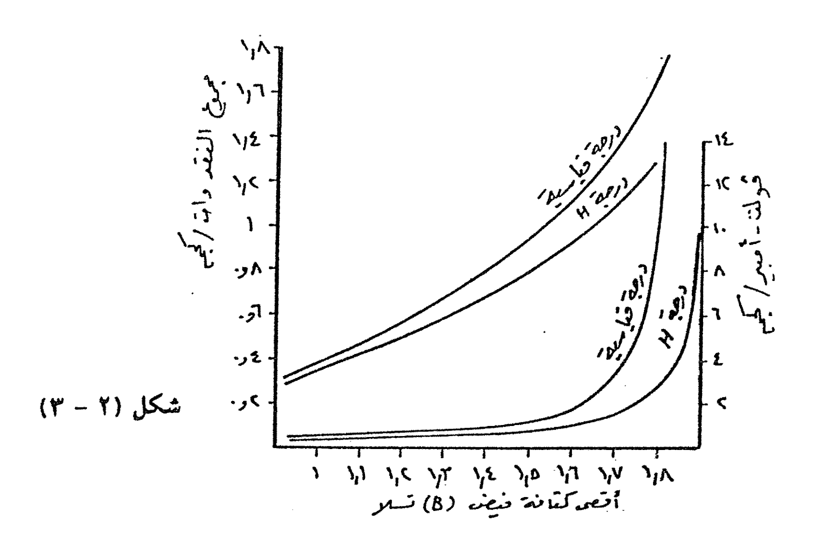
أ - اذا قل سمك الشرائح ، فان مجموع سمك المادة العازلة المستخدمة بين الشرائح سوف تزيد ، وهذا يؤدى إلى معامل حيز صغير *(Poor Space Factor)*

ب - اذا قل سمك الشرائح بدرجة كبيرة ، فانه من الصعوبة تجميع القلب للمحول ، واذا أمكن فسوف يكون ضعيفاً ميكانيكياً .

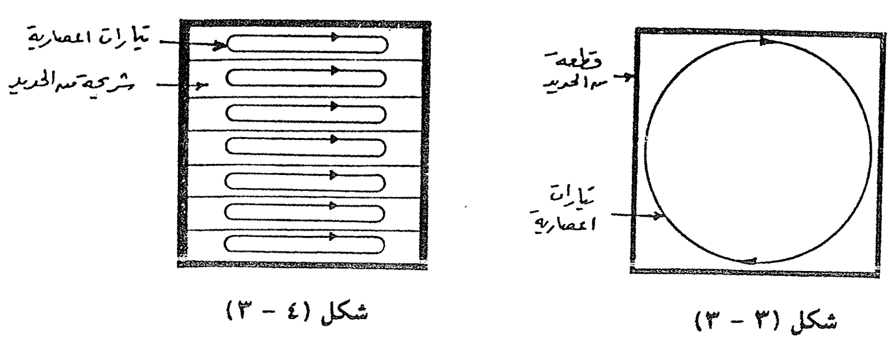
(٤) فقد التيارات الاعصارية الشاردة فى رباطات ومسامير القلب .



شكل (١ - ٣)



شكل (٢ - ٣)



شكل (٣ - ٣)

شكل (٤ - ٣)

Stray Eddy Current Loss In Core Clamps, Bolts ...

من الصعب تحديد قيمة هذا الفقد ، ويسمح عادة باضافة نسبة معينة لهذا الفقد،وهى التى يتم الحصول عليها من التجارب عن طريق الصانع . ويكون هذا الفقد ، أقل ما يمكن . اذا تم الاعتناء برباطات وتجميع القلب أثناء صناعة المحول ، والقيم المسموح بها كالآتى :

– للمحولات أحادية الوجه ـ مركزية ـ تضاف نسبة مساوية Z% من مفاقيد النحاس

– للمحولات ثلاثية الوجه ـ مركزية ـ تضاف نسبة مساوية 1.5 Z% من مفاقيد النحاس .

(٥) فقد التيارات الاعصارية الشاردة فى الخزان

Stray Eddy Current Loss In Tank

يشبه هذا الفقد ، فقد التيارات الاعصارية الشاردة فى الرباطات والمسامير ، الا أنه يزيد من قيمة فقد الحديد ، ويرجع هذا الفقد الى الفيض المغناطيسى الشارد الذى يقطع جسم الخزان . فى حالة الأحمال العالية (مرور تيار عالى فى ملف الجهد المنخفض) فان قيمة هذا الفقد تكون مرتفعة نسبياً ، ولتقليل هذا الفقد يجب بذل عناية خاصة عند تركيب اطراف ملفات الجهد المنخفض ، وكذلك العازلات *(Bushing)*، ويمكن استخدام مادة غير مغناطيسية فى الأمكان المجاورة لشفة العازل *(Bushing Flange)*، وذلك للحفاظ على قيمة الفقد صغيرة ، وفى حدود المسموح .

فى النهاية فان مفاقيد اللاحمل (أو مفاقيد الحديد ، أو مفاقيد القلب) وهى مجموع المفاقيد التى ذكرت سابقاً ، يمكن ايجادها ببساطة وبقيمة تقريبية عن طريق معرفة الوزن بالرطل للمادة المستخدمة فى صناعة قلب المحول ويضرب هذا الوزن فى قيمة الفقد / الرطل المعطاه من الصانع .

كذلك اذا امكن معرفة أبعاد القلب ، فمن السهل حساب كثافة الفيض وحجم المادة لكل قطاع بالقلب . وحيث أن وزن البوصة المكعبة من الصلب تساوى ٢٧٦, ٠ رطل فانه يمكن الحصول على الوزن الكلى يضرب حجم القلب فى ٢٧٦, ٠ رطل .

شكل (٦-٣) يوضح العلاقة بين كثافة الفيض بالكيلوخط / بوصة مربعة ومفاقيد القلب بالوات / الرطل لقلب مصنوع من الصلب السيليكونى ، المنحنى رقم (١) يمثل الفقد لقلب من النوع الملفوف *(Wound Core)* والمنحنى رقم (٢) يمثل الفقد فى قلب ذى شرائح

مستوية *(Flat Sheet Cores)* لمحول أحادى الوجه.فاذا كانت كثافة الفيض معروفة ، ووزن القلب فانه يمكن تحديد قيمة فقد اللاحمل من شكل (٦-٣) ، يمكن استخدام المنحنى (٢) لمحول ثلاثى الأوجه بضرب قيمة الفقد فى ١,١ اما اذا كانت كثافة الفيض كيلو جاوس ، فيمكن الحصول على الفقد بالوات / كجم من الشكل رقم (٧-٣)

ثانياً: مفقودات الحمل (أو مفقودات النحاس أو مفقودات دائرة القصر) .

Load Losses (or Copper Losses or Short Circuit Losses)

(١) فقد I^2R نتيجة تيارات الحمل

I^2R Loss Due to Load Current

هذا الفقد يساوى مجموع مربعات التيارات ، كلا مضروباً فى مقاومة الملف الذى يمر فيه. حيث أن التيار يكون ثابتاً ، على حسب مقنن المحول ، فانه من غير الممكن التحكم فى هذا الفقد عن طريق التيار ، ولكن العامل الوحيد للتحكم فى هذا الفقد هو مقاومات الملفات .

لتقليل قيمة مقاومة الملفات يجب تكبير مجموع مقاطع الموصلات وتقليل الطول الكلى للملفات . اذا زاد مقطع الموصلات فان المقاومة تقل وبالتالى I^2R يقل ، ولكن هذا يؤدى إلى زيادة المفاقيد المغناطيسية . وعلى ذلك فان العامل الوحيد الذى يمكن التحكم فيه لتقليل فقد I^2R ، هو طول الملفات الكلية ، والتى يمكن تقليلها للحصول على فقد I^2R مناسب ، وكذلك الحفاظ على حجم مناسب للمحول .

يمكن حساب فقد I^2R ببساطة من معرفة الوزن بالرطل للنحاس المستخدم لعمل ملفات ، ومفاقيد كل ملف بالوات / الرطل .

لمعرفة وزن النحاس ، يجب أولاً ايجاد متوسط طول اللفة لكل ملف ، ثم ضرب متوسط طول اللفة فى عدد اللفات ، لايجاد الطول الكلى للملف :

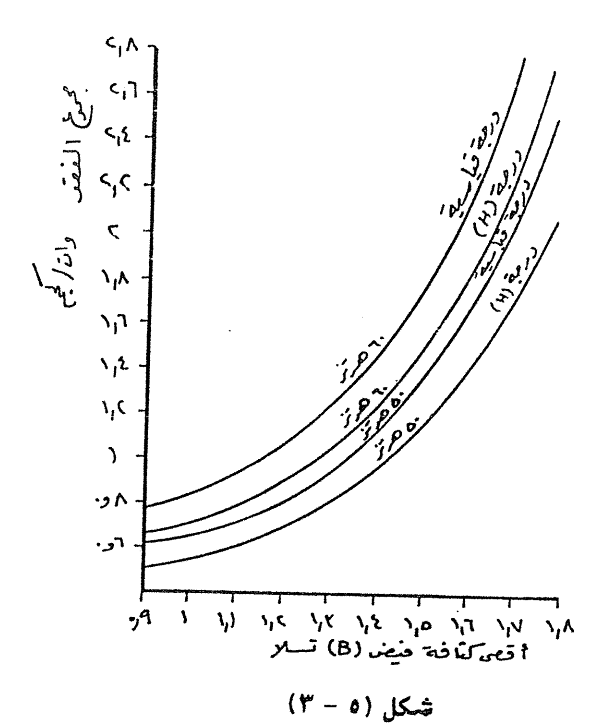
$$\text{وزن ملفات النحاس بالرطل} = wt = 3.858\ LA \qquad (٢-٣)$$

حيث

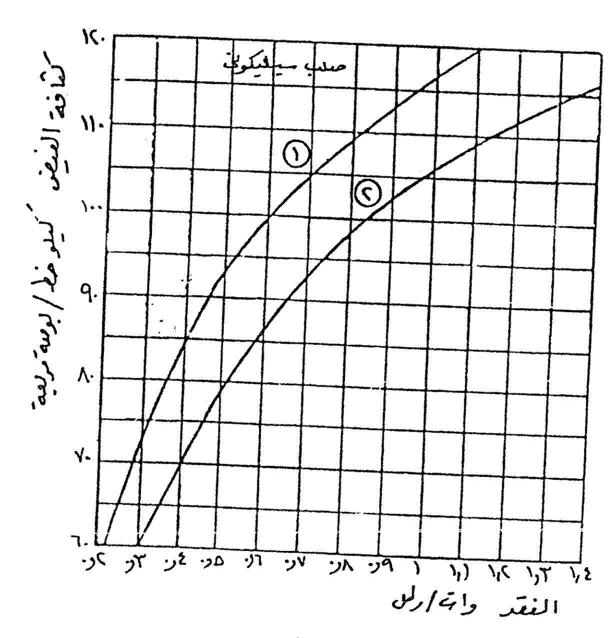
L = الطول الكلى للملفات (قدم)

A = مساحة مقطع الموصلات (بوصة مربعة)

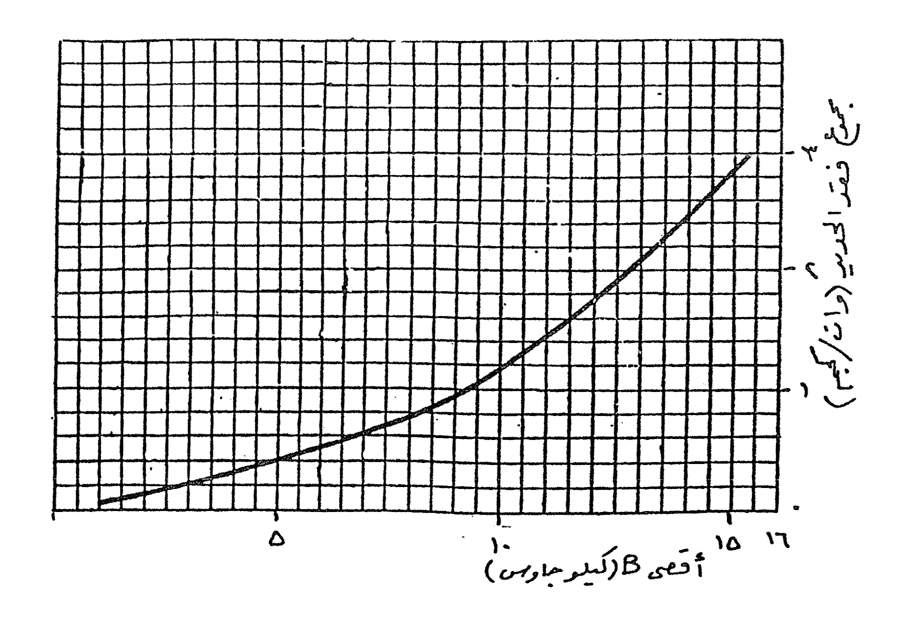
يحسب الفقد / الرطل من كثافة التيار كالآتى .



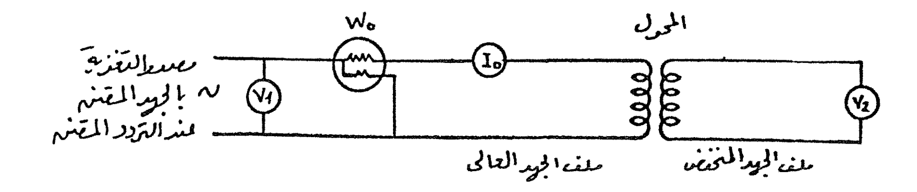
شكل (٥ - ٣)



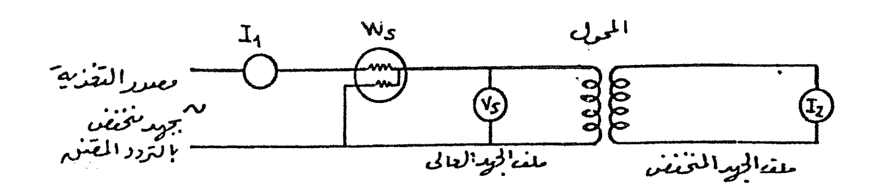
شكل (٦ - ٣)



شكل (٧ - ٣)



شكل (٨ - ٣)



شكل (٩ - ٣)

$$W_c = \frac{2.64\, d^2}{10^6} \qquad \text{.......................} \qquad (٣-٣)$$

حيث

W_c = فقد I^2R (النحاس) عند ٨٥° م (وات / الرطل)

d = كثافة التيار (أمبير / بوصة مربعة)

وعلى ذلك بحساب وزن ملفات النحاس من المعادلة رقم (٢-٣) ، ثم ضربها فى ناتج المعادلة رقم (٣-٣) ، نحصل على فقد النحاس I^2R بالوات .

(٢) فقد التيارات الاعصارية فى الموصلات نتيجة فيض التسرب

Eddy Current Loss In Conductors Due to Leakage Flux

تعتمد قيمة فقد التيارات الاعصارية على قيمة كثافة فيض التسرب *(Leakage Flux Density)*، والتى يمكن ايجادها ، فى حالة موصلات ذات مقطع مستطيل ، من العلاقة الآتية :

$$w_c = \frac{2.15\, f^2\, B_i^2\, b^2}{10^{10}} \qquad \text{.......................} \qquad (٣-٤)$$

حيث

w_c = فقد التيارات الاعصارية عند ٨٥° م (وات / الرطل)

f = التردد (هرتز)

B_i = أقصى كثافة فيض تسرب (خط / بوصة مربعة)

b = عرض الموصل (بوصة) والذى يكون متعامداً مع خطوط فيض التسرب

لايجاد المفاقيد الكلية للتيارات الاعصارية ، يضرب الوزن الكلى لملفات النحاس ، المحسوب من المعادلة (٢ – ٣) فى فقد التيارات الاعصارية المحسوب من المعادلة (٤-٣) .

جدول (١ – ٣) يوضح قيم مفقودات النحاس والحديد لمحولات توزيع ذات قدرات مختلفة

طبقاً للمواصفات (I.S 2026 - 1962)

جدول (٢ - ٣) يوضح أمثلة لقيم الفقد فى محولات قدرة حتى ٣٥ م. ف. أ. يلاحظ أن فقد النحاس (فقد الحمل) يكون منسوباً لدرجة حرارة معينة وعادة تكون ٧٥° م ، اذا كانت المواد العازلة المستخدمة من الدرجات (Class A,E,B). أو تكون ١١٥° م ، اذا كانت المواد العازلة المستخدمة من الدرجات (Class F, H).

يمكن تحديد قيم مفقودات النحاس والحديد عملياً باجراء تجربة لكل منهما كالآتى :

أ - تجربة اللاحمل لتحديد قيمة فقد الحديد *No Load Test*

تم تسليط الجهد المقنن (Rated Voltage) على طرفى ملف الجهد العالى ويترك ملف الجهد المنخفض مفتوحاً ، أو يتم توصيل فولتميتر بين طرفيه . ويتم توصيل فولتمتر وامبيرمتر وواتمتر بملف الجهد العالى ، كما فى الشكل (٨-٣) .

يتم أخذ قراءات V_1 , V_2 , I_o , W_o ، ومن هذه القراءات نحصل على المعلومات الآتية :

$$\text{معامل القدرة عند اللاحمل} = \cos\phi_o = \frac{W_o}{V_1 I_o}$$

$$\text{نسبة التحويل فى المحول} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\text{مقاومة التمغنط} = R_o = \frac{V_1}{I_o \cos\phi_o}$$

$$\text{ممانعة التمغنط} = X_o = \frac{V_1}{I_o \sin\phi_o}$$

$$\text{مفقودات الحديد} = W_o - I_o^2 R_1$$

حيث $I_o^2R_1$ قيمة مفقودات النحاس ، نتيجة مرور تيار اللاحمل I_o فى مقاومة ملف الجهد العالى R_1 ، وتكون صغيرة جداً ، ويمكن أهمالها .

وعلى ذلك فان :

$$\text{مفقودات الحديد} \approx W_o$$

(ب) تجربة دائرة القصر لتحديد قيمة فقد النحاس

Short Circuit Test

يتم عمل دائرة قصر على ملف الجهد المنخفض أو توصيل أمبيرمتر بين طرفيه (مقاومة الامبيرمتر صغيرة جداً ، ويمكن اهمالها) . يتم توصيل اميتر وفولتمتر وواتمتر بملف الجهد العالى ، كما فى شكل (٩-٣) . يتم تسليط جهد بقيمة منخفضة ، حوالى ٥ ٪ من الجهد المقنن على ملف الجهد العالى ، بحيث يمر تيار بملف الجهد المنخفض (دائرة القصر) مساوياً لتيار الحمل الكامل للمحول . فى هذه الحالة تبدد قدرة الدخل كلها فى المفقودات .

وتكون عبارة عن جزئين : مفقودات حديدية ذات قيمة صغيرة جداً يمكن اهمالها ، مفقودات نحاسية مناظرة لمرور تيار الحمل الكامل بالمحول . يتم أخذ قراءات W_s, V_s, I_2, I_1 ومن هذه القراءات نحصل على المعلومات الآتية :

$$\text{معامل القدرة} = \cos\phi_s = \frac{W_s}{V_s I_2}$$

المفقودات النحاسية فى المحول عند التيار I_2 تساوى تقريباً W_s

المفقودات النحاسية عند تيار الحمل الكامل I_n تساوى بالتقريب

$$W_s \left[\frac{I_n}{I_2} \right]^2$$

$$\text{نسبة التحويل للمحول} = \frac{T_1}{T_2} \approx \frac{I_2}{I_1}$$

جدول (١-٣)

قيـم مفقـودات النحـاس ومفقـودات الحـديد لمحولات التوزيـع ، طبقـاً للمواصفات (I.S :2026 - 1962) .

قـدرة المحـول ك . ف . أ	مفقودات الحديـد وات	مفقودات النحاس (٧٥ٌ م) وات
١٠٠	٥٠٠	٢٠٠٠
١٢٥	٥٧٠	٢٣٥٠
١٦٠	٦٧٠	٢٨٤٠
٢٠٠	٨٠٠	٣٤٠٠
٢٥٠	٩٥٠	٤٠٠٠
٣١٥	١١٥٠	٤٧٧٠
٤٠٠	١٣٨٠	٥٧٠٠
٥٠٠	١٦٦٠	٦٩٢٠
٦٣٠	١٩٨٠	٨٢٦٠
٨٠٠	٢٤٠٠	٩٩٨٠
١٠٠٠	٢٨٠٠	١١٨٨٠

ويلاحظ من الجدول النسبة بين مفقودات النحاس الى مفقودات الحديد حوالى ٤، ويلتزم بهذه النسبة عادة تقريباً عند تصميم محولات التوزيع .

جدول(٢-٣)

مثال لقيمة الفقد فى محولات قدرة حتى ٣٥ م. ف. أ.

أقصى جهد لملف الجهد العالى ك . ف	قدرة المحول م. ف. أ	فقد اللاحمل ك . وات	فقد الحمل عند ٧٥° م ك . وات
أقل من أو يساوى ٣٦	١٢,٥	١٥	٨٢
	١٦	١٧	٩٧
	٢٠	١٩,٥	١١٥
أقل من أو يساوى ٧٢,٥	١٢,٥	١٥	٨٢
	١٦	١٧	٩٧
	٢٠	١٩,٥	١١٥
	٢٥	٢٢,٥	١٣٦
	٣١,٥	٢٦	١٦٠
	٣٥	٢٨	١٧٠

ملحوظة هامة : يلاحظ أن نسبة مفقودات النحاس الى مفقودات الحديد فى هذه المحولات ، لاتختلف كثيراً عن النسبة فى محولات التوزيع ، السابق ذكرها فى الجدول رقم (١-٣) ، ذلك لأن هذه المحولات هى فى حقيقة الأمر ، بالنسبة لمستلزمات التصميم التى تمليها طبيعة عملها ، عبارة عن محولات توزيع فى محطات المحولات الخاصة بالمرحلة الأولى لخفض الجهد ، بغرض الوصول بالجهد العالى لخطوط النقل ، الى الجهد الذى يمكن الوصول به الى الأحياء السكنية ، لتغذية محولات التوزيع التقليدية ، التى تعطى الجهد المناسب للاستخدامات المنزلية ، وفى المصانع . وقد درجت العادة على تسميتها بمحولات القدرة ، على أساس مقننات قدراتها العالية ، فهى فى تصميمها تنضوى تحت لواء محولات التوزيع ، بخلاف محولات القدرة التى تستخدم فى محطات التوليد .

٢ - ٣ كفاءة المحول *Efficiency of Transformer*

يحدث نتيجة المفقودات التى يبددها المحول ، على شكل مفقودات الحديد ومفقودات نحاسية ، أن تقل قدرة مخرج المحول عن قدرة المدخل . وبذلك تعرف كفاءة المحول بمعلومية قدرة المخرج ، والمفقودات ، وقدرة المدخل من الينبوع ، كالآتى :

$$\text{الكفاءة} = \eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{cu}}$$

$$= \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_1 - P_{Fe} - P_{cu}}{P_1}$$

$$= 1 - \left[\frac{P_{Fe}}{P_1} + \frac{P_{cu}}{P_1}\right]$$

$$= 1 - \delta$$

حيث

P_1 = مقنن قدرة المدخل *(Rated Input)*

P_2 = مقنن قدرة المخرج *(Rated Output)*

P_{Fe} = قيمة المفقودات الحديدية *(Iron Losses)* عن مقنن الجهد والتردد

P_{cu} = قيمة المفقودات النحاسية *(Cuppor Losses)* عند الحمل الكامل

δ = معامل القصور *(Defficiency Factor)*

مع ملاحظة أن جميع القيم السابقة تكون بالوات ، وذلك عند مقنن الجهد ومقنن التيار .

من المعادلة السابقة يمكن الحصول على أقصى كفاءة η_m ، عندما يكون معامل القصور (δ) فى نهايته الصغرى .

$$\delta = \frac{P_{Fe}}{P_1} + \frac{P_{cu}}{P_1}$$

باعتبار الجهد ثابتاً ، يكون :

$$\frac{P_{Fe}}{P_1} = \frac{C_{Fe}}{I}$$ (باعتبار أن $P_1 = VI, P_{Fe} = C_{Fe} V$)

$$\frac{P_{cu}}{P_1} = C_{cu} I$$ (باعتبار أن $P_1 = VI, P_{cu} = C_{cu} I^2$)

$$\delta = \frac{C_{Fe}}{I} + C_{cu} I$$

$$\frac{d\delta}{dI} = - \frac{C_{Fe}}{I^2} + C_{cu} = 0$$

وهذا هو شرط الحصول على η_m ، أى أن

$$C_{Fe} = I^2 C_{cu}$$

وهذا يعنى اننا نحصل على قيمة النهاية العظمى لكفاءة المحول η_m ، عندما تكون قيمة التيار I_m ، بحيث تكون مفقودات النحاس ، التى تنتج عن هذا التيار ، مساوية لمفقودات الحديد ، التى تكون ثابتة فى المحول (باعتبار أن التردد والجهد ثابتان)

نفرض أن المحول محمل بالنسبة x من الحمل الكامل ، أى أن :

$$x = \frac{I_m}{I_n}$$

حيث I_m التيار ، الذى يتحقق معه شرط الحصول على η_m

I_n تيار الحمل الكامل

نجد أن

$$P_{Fe} = P_{cu} \left[\frac{I_m}{I_n} \right]^2 = x^2 P_{cu}$$

$$x = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{cu}}}$$

اى أن النسبة بين قيمة التيار (I_m) ، المقابلة للحصول على قيمة النهاية العظمى للكفاءة ، بالنسبة لقيمة تيار الحمل الكامل (I_n)، تتوقف على النسبة بين مفقودات الحديد الى مفقودات النحاس عند الحمل الكامل .

وعلى ذلك يجب أن يراعى ، عند تصميم محولات القدرة (التى تستخدم فى محطات التوليد) ، أن تكون مفقودات الحديد مساوية لمفقودات النحاس عند تيار الحمل ، حيث يكون من المتوقع تشغيل المحول بهذا التيار معظم الوقت ، لكى نحصل على أعلى قيمة للكفاءة ، خلال فترة التشغيل تقريباً ، وتكون النتيجة خفض الطاقة المستهلكة فى مفقودات المحول بالكيلو وات ساعة وبالتالى خفض قيمة تكاليف التشغيل وتكون كفاءة المحول عادة عالية ، عند الحمل الكلى ، وهى قد تتراوح بين ٩٦ ٪ الى ٩٨,٥ ٪ معتمدة على تصميم وحجم المحول .

الكفاءة اليومية *All Day Efficiency*

تظل محولات التوزيع التى تستخدم لتحويل جهد الارسال ، العالى نسبياً ، الى جهدمنخفض (على مرحلتين : الاولى فى محطات المحولات التى يطلق عليها مجازاً محولات القدرة ، والثانية عند التوزيع) ، طوال اليوم موصلة الى الينبوع لتغذية المنازل والورش والمحلات العامة ، مما يجعلها تستهلك المفقودات الحديدية طول هذا الوقت ، بدون انقطاع ، ويكون تحميل المحول مقسم الى فترات ، فترة يكون الحمل فيها هو أقصى حمل ، وفترات يكون الحمل فيها جزءاً من الحمل ، وفترة بدون حمل تقريباً وهكذا .. عند حساب مفقودات الحديد لهذه النوعية من المحولات ، على مدار ٢٤ ساعة ، نجدها كبيرة .

لذلك فانه فى حالة محولات التوزيع يتم حساب الكفاءة اليومية ، على أساس النسبة بين

الطاقة التى يعطيها المحول والطاقة التى يأخذها من الينبوع على مدى ٢٤ ساعة وتكون هذه الكفاءة اليومية منخفضة بسبب ارتفاع قيمة مفقودات الحديد ، إذا تمت مساواتها بمفقودات النحاس عند الحمل الكامل للحصول على القيمة العظمى للكفاءة η_m عند الحمل الكامل.لهذا السبب يتم التجاوز عن هذا الشرط عند تصميم هذه المحولات ، ويراعى خفض قيمة النسبه بين مفقودات الحديد الى مفقودات النحاس ، عند مقنن الجهد والتيار ، بحيث تتراوح بين ١٥,٠ الى ٣,٠ تقريباً ، وفى هذه الحالة سوف نجد أن الكفاءة اليومية للمحول أصبحت مناسبة .

باختصار فان :

$$\text{الكفاءة اليومية} = \frac{\text{الكيلو وات ساعة للمخرج فى اليوم}}{\text{الكيلووات ساعة من المدخل فى اليوم}}$$

شكل (١٠-٣) يوضح العلاقة بين الكفاءة ونسبة الحمل عند معامل قدره يساوى ٨,٠ ، وعند معامل قدره يساوى الوحدة .

أقصى كفاءة للمحول يمكن الحصول عليها عند تساوى فقد النحاس وفقد الحديد عند حمل معين .

ومن ذلك يمكن ببساطة ايجاد كفاءة المحولات بطريقة سريعة باستخدام نوموجرام *(Nomograms)* شكلى (١١-٣) ، (١٢-٣) يوضحان نوموجرام عند قيم مختلفة لفقد الحديد وفقد النحاس . ولايجاد الكفاءة عند نسبة حمل معين ، يتم رسم خط بين فقد النحاس وفقد الحديد ، والخط الناتج يقطع الخط الرأسى الممثل للكفاءة عند الحمل المراد معرفة الكفاءة عنده .

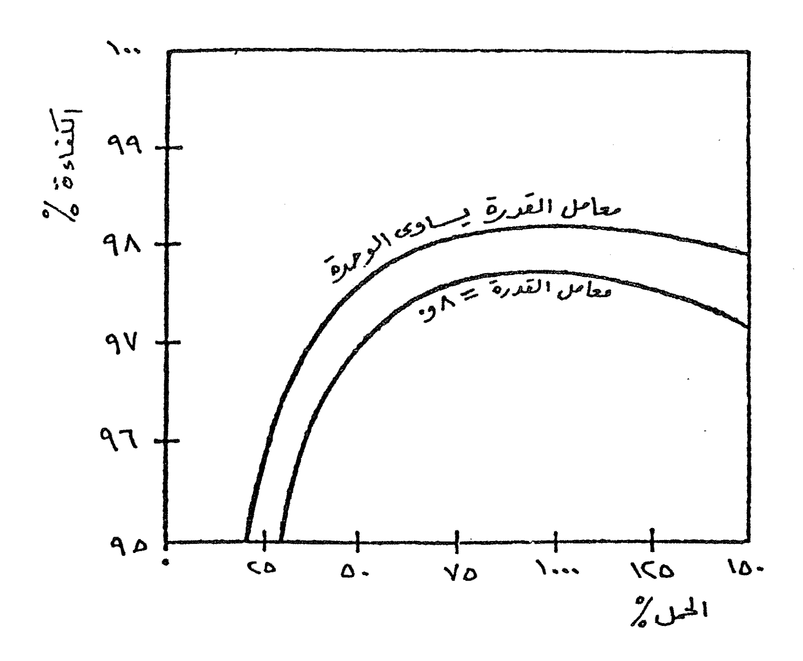
مثال

فقد الحديد = ١ ٪

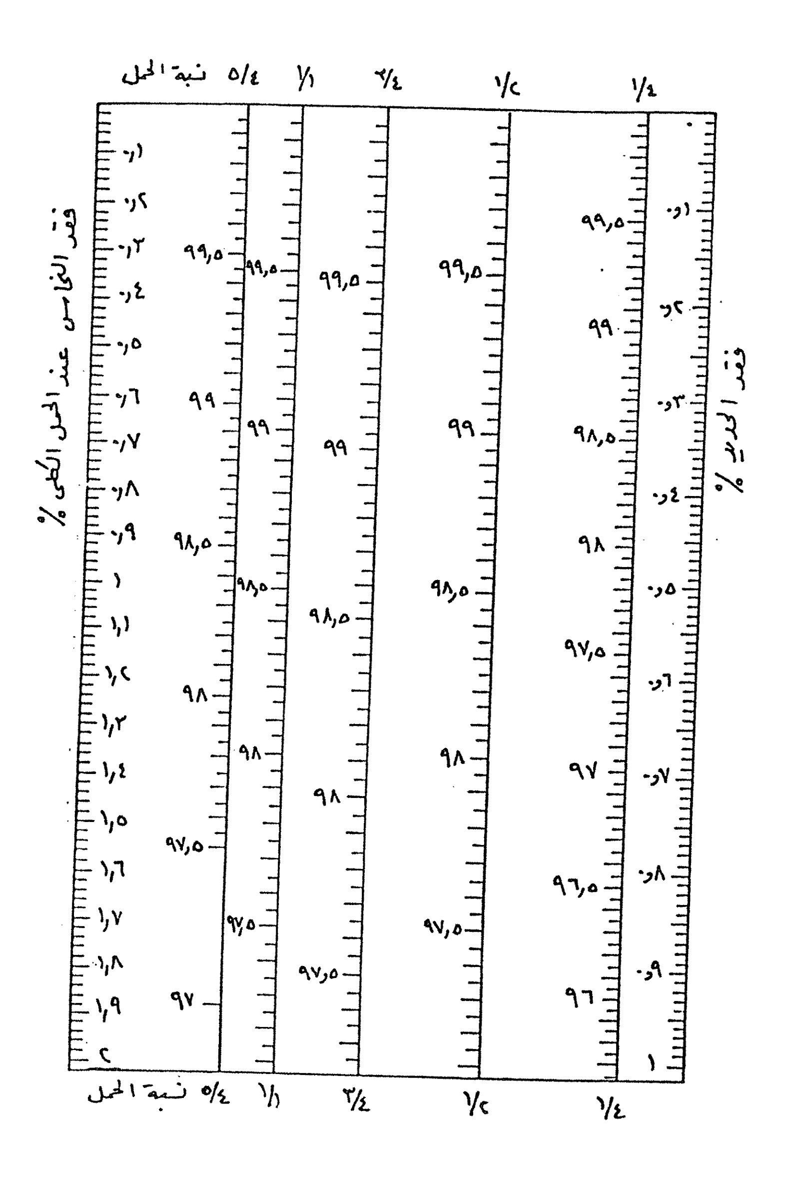
فقد النحاس = ١ ٪

نسبة الحمل = ٣ / ٤

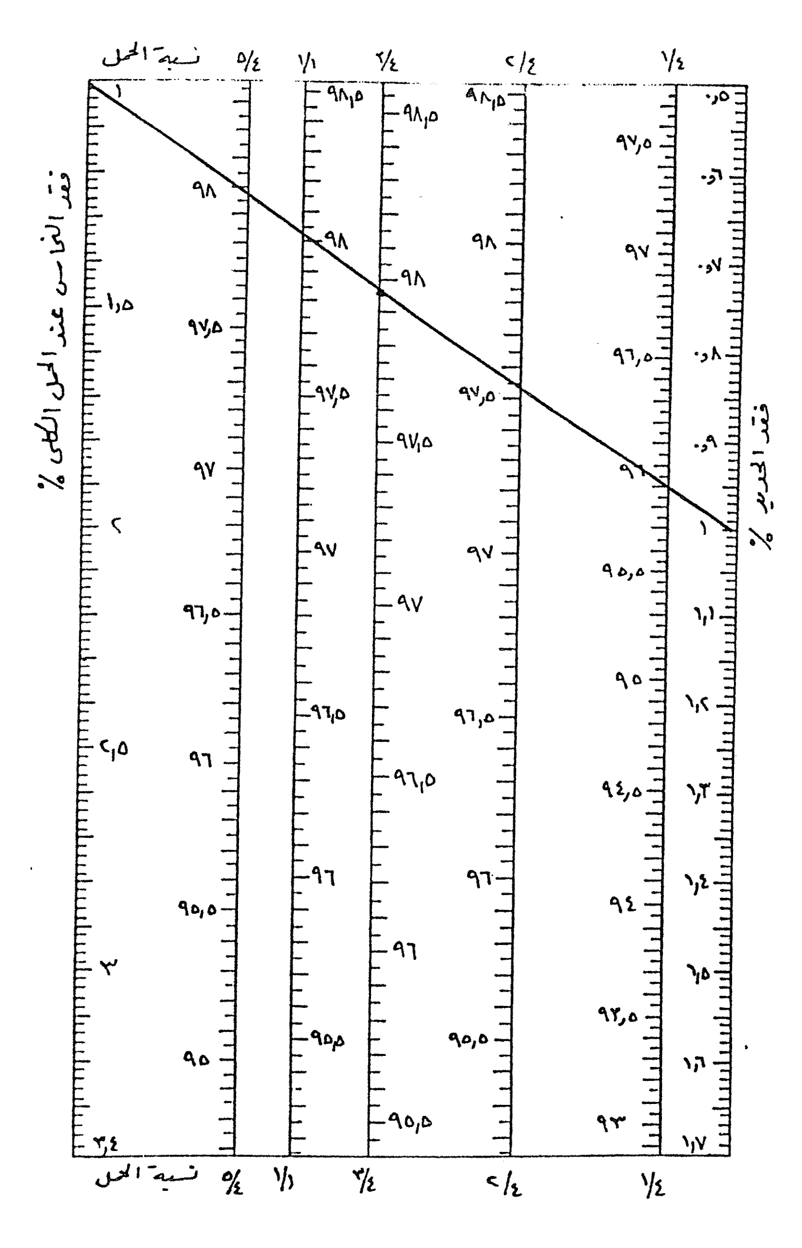
من شكل (١٢-٣) فان الكفاءة = ٩٧,٩٥


١٠٠
٩٩
٩٨
٩٧
٩٦
٩٥
الكفاءة %
معامل القدرة يساوى الوحدة
معامل القدرة = ٨ر٠
٠
٢٥
٥٠
٧٥
١٠٠
١٢٥
١٥٠
الحمل %

شكل (١٠ - ٣)


نسبة الحمل
٥/٤
١/١
٣/٤
١/٢
١/٤
فقد النحاس عند الحمل الكلي %
فقد الحديد %

شكل (١١ - ٣)



نسبة الحمل
٥/٤
١/١
٣/٤
٢/٤
١/٤
فقد النحاس عند الحمل الكامل %
فقد الحديد %

شكل (١٢ - ٣)

مثال :

مطلوب شراء محول توزيع له الخصائص الآتية :

– القدرة ١٥٠٠ ك.ف.أ عند ٠,٨ معامل قدرة متأخرة .

– طبيعة عمل المحول خلال العام كالآتى : حمل كامل لمدة ٢٨٠٠ ساعة ، نصف حمل لمدة ١٦٠٠ ساعة ، ٤/١ حمل لمدة ١٤٠٠ ساعة . باقى العام يكون المحول عند حالة اللاحمل .

اى المحولين الآتيين يتم أختياره :

محول (أ) له كفاءة (η) عند الحمل الكامل تساوى ٩٨,٥ ٪ ، ومفاقيد الحديد ٤,٢٥ ك.و ، ومعامل قدره ٠,٨ .

محول (ب) : له كفاءة (η) عند الحمل الكامل تساوى ٩٨,١ ٪ ومفاقيد الحديد ٦,٥ ك.و ومعامل قدره ٠,٨ .

تكاليــف شراء محول (أ) أكثر من تكاليف شراء محول (ب) بقيمة ٢٠٠ جنيه وتكاليف ١ ك. و. س. يساوى ٤ مليم . نفــرض أن سعــر الفائــدة والاستهــلاك تســـاوى ١٢ ٪ *(Rate Of Interest and Depritiation)*

الحل :

باعتبار أن المحولين مستوفيان لجميع المواصفات الفنية ، فان المفاضلة بين المحولين تكون على أساس الناحية الاقتصادية ، لذلك يختار المحول الذى يكلفنا الثمن الأقل ، يتكون من : الثمن الاساسى لشراء المحول ، وثمن تكاليف تشغيل المحول ، والتى تختلف من محول إلى آخر ، نتيجة اختلاف قيمة المفقودات فى كل منهما ، التى تعنى زيادة غير مستفاد بها فى ثمن الطاقة المستهلكة ، ولكى تكون المقارنة على أساس سليم ، فان الزيادة فى ثمن أحد المحولين عن الآخر تحول الى دفعة سنوية مستهلكة من رأس المال ، تضاف مع فوائدها إلى ثمن المفقودات فى المحول الأعلى سعراً ، وذلك بسعر الفائدة والاستهلاك المعطى .

معامل القصور لمحول (أ) = ١ – ٠,٩٨٥ = ٠,٠١٥

معامل القصور لمحول (ب) = ١ – ٠,٩٨١ = ٠,٠١٩

مجموع المفقودات محول (أ) = مفقودات الحديد + مفقودات النحاس

$$= \frac{٠,٨ \times ١٥٠٠}{٠,٩٨٥} \times ٠,٠١٥ = ١٨,٢٥ \text{ ك.و}$$

مفقودات النحاس لمحول (أ) = ١٨,٢٥ − ٤,٢٥ = ١٤ ك.و

$$\text{مجموع مفقودات محول (ب)} = \frac{٠,٨ \times ١٥٠٠}{٠,٩٨١} \times ٠,٠١٩ = ٢٣,٢٥ \text{ ك.و}$$

مفقودات النحاس لمحول (ب) = ٢٣,٢٥ − ٦,٥ = ١٦,٧٥ ك.و

الطاقة المستهلكة فى المفقودات بالكيلو وات ساعة خلال عام (٨٧٦٠ ساعة)

لمحول (أ) = ٨٧٦٠ × ٤,٢٥ + ٢٨٠٠ × ١٤ + ١٦٠٠ × ٣,٥ + ١٤٠٠ × ٠,٨٧٥

= ٨٣٢٧٤ ك. و. س

وتكون التكاليف السنوية للطاقة المستهلكة فى المفقودات

= ٨٣٢٧٤ × ٤ / ١٠٠٠ = ٣٣٣,٠٩٦ جنيه

الطاقة المستهلكة فى المفقودات بالكيلو وات ساعة خلال عام (٨٧٦٠ ساعة)

لمحول (ب) = ٨٧٦٠ × ٦,٥ + ٢٨٠٠ × ١٦,٧٥ + ١٦٠٠ × ٤,١٨٨

+ ١٤٠٠ × ١,٠٤٧ = ١١٢٠١٦ ك. و. س.

التكاليف السنوية للطاقة المستهلكة فى المفقودات

$$= ١١٢٠١٦ \times \frac{٤}{١٠٠٠} = ٤٤٨,٦٤ \text{ جنيه}$$

الدفعة السنوية لزيادة ثمن المحول (أ) بالجنيه = ٢٠٠ × ١٢ / ١٠٠ = ٢٤

تضاف الى تكاليفة السنوية ، فتصبح التكاليف الكلية للمحول (أ) ، التى تتم على أساسها المقارنة ، تساوى ٣٥٧,٠٩٦ جنيه

وعلى ذلك يختار المحول (أ) لانخفاض السعر

(يلاحظ فى معادلة الطاقة المستهلكة فى المفقودات ان الرقم ٣,٥ تم الحصول عليه كالآتى :

مفقودات النحاس عند الحمل الكامل = ١٤ ك. و $= I^2R$

مفقودات النحاس عند نصف الحمل $= (I/2)^2 R$ = ١٤/٤ = ٣,٥

وهكذا عند حساب مفقودات النحاس عند ربع الحمل الكامل)

٣-٣ وقاية المحولات *Protection of Transformers*

يمكن تلخيص الغرض الأساسى من وقاية المحولات فيما يلى :

- وقاية المحول من الاعطال الخارجية مثل حالات القصر المختلفة ، إرتفاع الجهد ، زيادة الحمل .
- وقاية الشبكة الكهربائية المتصلة بالمحول .
- وقاية الاجزاء المحيطة بالمحول وقت العطل .
- ملاحظة ومراقبة تشغيل المحولات وذلك لتقليل المخاطر ، بقدر الامكان ، وقت حدوث العطل .

من الاعطال شائعة الحدوث بالمحولات : قصر أرضى – قصر بين وجهين – قصر بين اللفات الداخلية – عطل بالقلب – إرتفاع الحرارة نتيجة زيادة الحمل ، او نتيجة زيادة حرارة القلب لأى سبب من الاسباب – انهيار العوازل نتيجة تراكم الاتربة والرطوبة – ضعف فى الملفات .... إلخ .

يعتمد إختيار الوقاية اللازمة لأى محول على عدة عوامل منها الحجم ، وما اذا كان المحول يحتوى على مغير جهد يعمل عند حالة الحمل أو حالة اللاحمل .

يجب توفر المعلومات الاتيةعند إختيار الوقاية اللازمة للمحولات :

١ – البيانات الاساسية :

- القدرة ك. ف. أ.
- نسبة التحويل .
- المجموعة الاتجاهية (طريقة توصيل الملفات) .
- نسبة معاوقة المحول المئوية $(Z\%)$.
- حالة نقطة التعادل للمحول : هل هى مؤرضة مباشرة مع الأرض ، أو معزولة ، أو مؤرضة من خلال مقاومة .
- حالة نقطة التعادل للنظام .

- هل المحول مركب داخل مبنى أو خارجه .

- هل المحول جاف أو مملوء بالزيت .

- هل يحتوى المحول على خزان إحتياطى أو هو بدونه .

٢ - طول ومقطع الأسلاك بين محولات التيار وخلايا أجهزة الوقاية .

٣ - مستوى دائرة القصر عند القضبان الرئيسية للمحول .

٤ - وضع المحول بالنسبة للشبكة الكهربائية .

تقسم اجهزة الوقاية للمحولات كالتالى :

- أجهزة وقاية كهربائية تكشف الأعطال غير العادية عن طريقة قياس دوائر التيار أو دوائر الجهد ، أو الإثنين معاً ، وتتجاوب لها لحماية المحول .

- أجهزة أمان وتحذير .

وفيما يلى نستعرض كل جزء على حدة .

أولاً : أجهزة الوقاية الكهربائية :

يمكن تلخيص أنواع أجهزة الوقاية ، اللازم تركيبها على المحول ، على حسب قدرة المحول كالآتى :

أ - فى حالة محولات التوزيع ذات القدرات الصغيرة :

- تستخدم مصهرات سعة قطع كبيرة للحماية ، من حالات القصر مع الأرض .

- لا يحتاج الأمر لإضافة وقاية ضد زيادة الحمل .

ب - فى حالة محولات التوزيع ذات قدرة تبلغ ٥٠٠ ك. ف. أ.

- وقاية ضد زيادة التيار .

- وقاية ضد التسرب الأرضى .

جـ - فى حالة محولات التوزيع المركبة فى أماكن هامة ذات قدرة تزيد على ٥٠٠ ك. ف. أ.

- وقاية ضد التسرب الارضى المقيد .

- وقاية ضد زيادة التيار .

- وقاية غازية (البوخهلز) .

د - فى حالة محولات القدرة ذات القدرة ٥ م. ف. أ. فأكثر .

- وقاية تفاضلية .

- وقاية ضد التسرب الارضى المقيد .

- وقاية ضد زيادة التيار .

- وقاية ضد زيادة الفيض .

- وقاية غازية (البوخهلز) .

- وقاية ضد انخفاض الضغط .

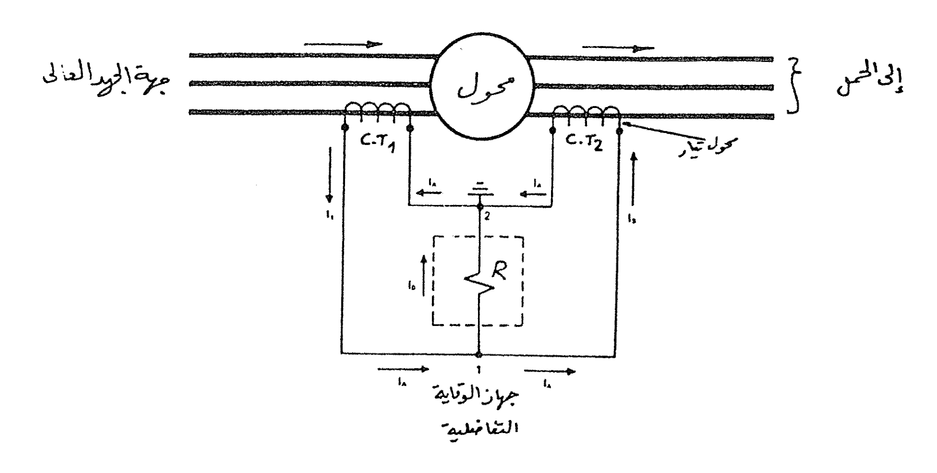
فيما يلى نستعرض الانواع المختلفة لأجهزة الوقاية المستخدمة :

١) الوقاية التفاضلية *Differential Protection*

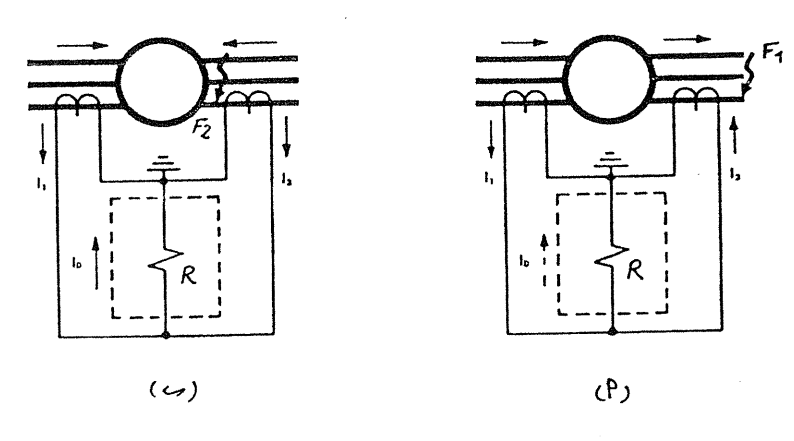
تعتمد الوقاية التفاضلية فى أساسها على اتزان أو مقارنة التيارين المارين فى الملفين الثانويين لمحولى التيار (الخاصين بجهاز الوقاية) ، المركبين على كل من جانبى المحول . يوضح شكل (١٣- ٣) النظرية الأساسية لجهاز الوقاية التفاضلية ، حيث يتم توصيل ملف المتمم *(Relay Coil)* فى جهاز الوقاية *(R)* على التوازى مع الملفين الثانويين لمحولى التيار $(C.T_1 , C.T_2)$. فى حالة التحميل العادى للمحول بدون وجود عطل تكون محصلة التيارين المارين بملف الوقاية التفاضلية *(R)* مساوية للصفر $(I_0 = I_1 - I_2 = 0)$.

يتضح من شكل (١٣ - ٣) أن جهاز الوقاية التفاضلية يحتوى على ملف واحد *(R)* يعمل بالتيار ، وهو ذو حساسية عالية ، بحيث يمكن أن يكشف عن الاعطال الآتية : قصر أرضى - قصر بين وجهين - قصر بين ثلاثة أوجه . إذا فرض ، كما فى شكل (١٤ - ٣) أ حدوث قصر خارج المنطقة المحمية عند الوضع (F_1) (المقصود بالمنطقة المحميةهى المنطقة بين محولى التيار على جانبى المحول) ، فى هذه الحالة فان محصلة التيار تساوى صفراً

$(I_0 = I_1 - I_2 = 0)$



شكل (١٣ - ٣)



شكل (١٤ - ٣)

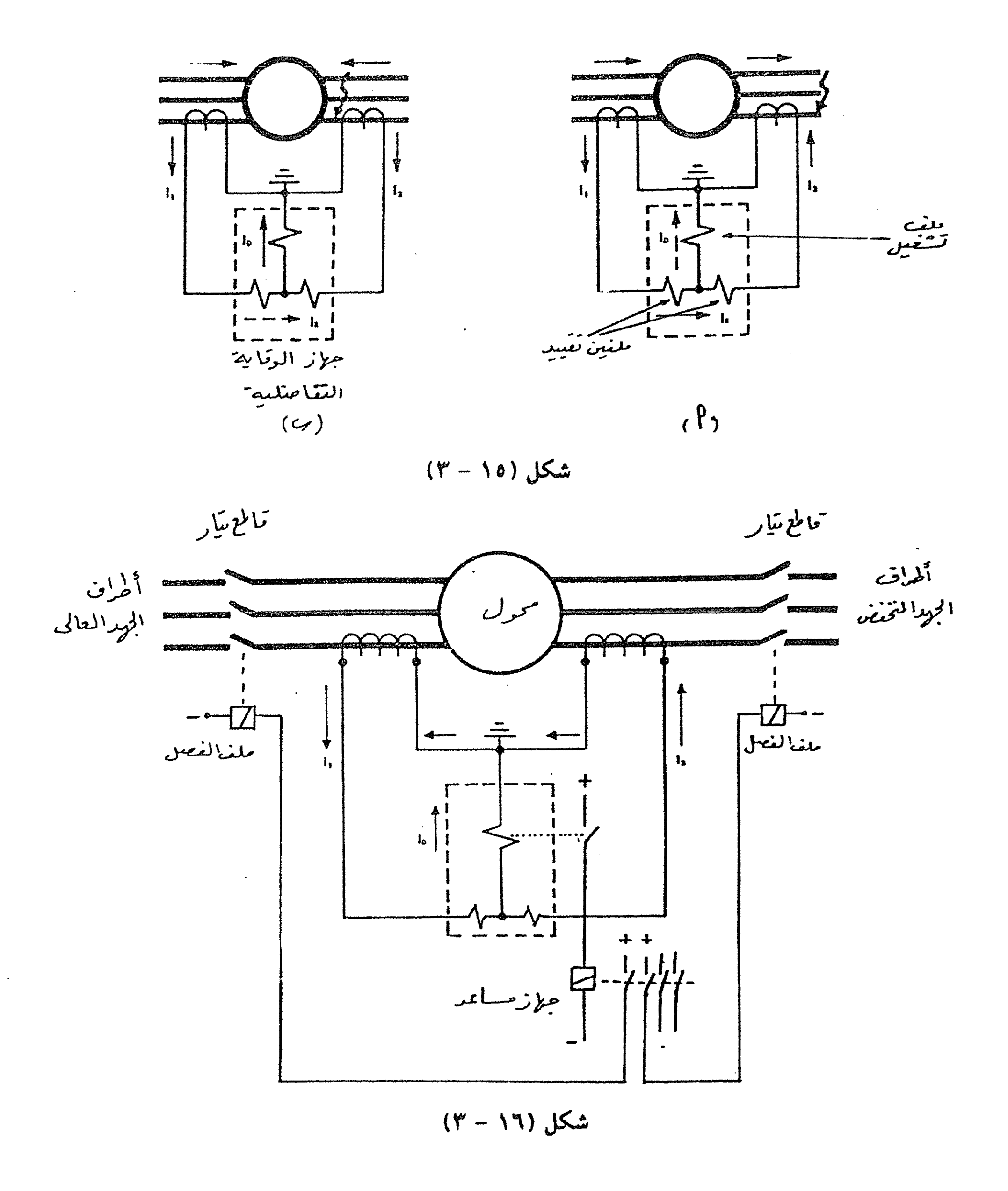
هذا مع ملاحظة انه فى حالة التشغيل العادى للمحول، وكذلك فى حالة الاعطال الخارجية ، فان محصلة التيار تساوى تيار المغنطة وهو صغير جداً ، ويفرض تجاوزاً أنه يساوى الصفر ، ولكن فى الواقع ، فإنه يتم ضبط تشغيل الجهاز على قيمة أكبر من أعلى تيار مغنطة يمكن أن يمر بالجهاز .

يوضح شكل (١٤ - ٣) ب حالة قصر داخل المنطقة المحمية عند الوضع (F_2) ، وفى هذه الحالة تمر محصلة التيار بملف المتمم (R) $(I_0 = I_1 + I_2)$ ، وتكون قيمتها أعلى من القيمة اللازمة لتشغيل الجهاز ، فيعمل الجهاز ، ويعطى اشارةلقاطعى التيار على جانبى المحول ، فيفصلانه من الخدمة .

من أنواع أجهزة الوقاية التفاضلية جهاز التفاضل النسبى *(Percentage Differential Relay)* ، الذى يضمن عدم التشغيل الخاطئ للجهاز فى أحوال معينة ، ويحتوى الجهاز فى هذه الحالة على ملف تشغيل *(Operating Coil)* ، وملفين آخرين يعرفان بالملفين المقيدين *(Restraining Coil)* ، وتكون محصلة عزم التقيد فى الملفين مؤثرة فى نقط تلامس إتجاهيه ، وتتناسب مع الجمع الاتجاهى للتيارات الداخلة والخارجة .

يوضح شكل (١٥ - ٣) أ حدوث قصر خارج المنطقة المحمية ، فى هذه الحالة فإن العزم المحصل الذى يؤدى الى بقاء نقطة التلامس الخاصة بالمتمم مفتوحة ، يعمل على منع الفصل الخاطئ نتيجة مرور التيار التفاضلى I_0 ، الذى يعطى هذا العزم فى الإتجاه المرغوب ، بملف التشغيل .

يوضح شكل (١٥ - ٣) ب حدوث قصر داخل المنطقة المحمية ، فى هذه الحالة فان التيارين المارين بملفى التقيد ، يعطيان عزماً محصلاً فى إتجاه مضاد ، ولكنه يكون أقل بكثير من تيار التشغيل الناتج عن العطل داخل المنطقة المحمية ، فيتغلب عزم التشغيل *(Operating Torque)* ، نتيجة مرور التيار التفاضلى I_0 ، على عزم التقيد *(Restraining Torque)* وتقفل نقط التلامس معطية إشارة كهربية بفصل قاطعى التيار ، كما فى شكل (١٦ - ٣) . (تيار ملف التشغيل يكون أكبر من نسبة معينة ، التى تكون أصغر أو أكبر من تيارات التقيد ، معتمداً على نوع الجهاز المستخدم ، مع ملاحظة أن الأمبير - لفة للفات التقيد تتناسب مع $\frac{I_1 + I_2}{2}$) .



شكل (١٥ - ٣)

شكل (١٦ - ٣)

تعمل بعض الاجهزة عند نسبة ثابتة لقيمة عدم إتزان *(Uubalance)* التيارات المارة بملفات التقيد . وأجهزة أخرى تعمل عند حدود مدى متغير للتيار التفاضلى المار بملف التشغيل ، ويجب أن يكون الجهاز حساس جداً للتيارات الصغيرة ويمنع التشغيل الزائف .

لتوصيل جهاز الوقاية التفاضلى لمحول ثلاثة أوجه ، فإنه يجب العناية بطريقة توصيل محولات التيار ، المركبة علي جانبى المحول . تعتمد طريقة توصيل محولات التيار على المجموعة الاتجاهية للمحول ، فيتم توصيل محولات التيار على شكل دلتا جهة ملف المحول الموصل نجمة ، وهذا واضح من شكل (١٧ – ٣) .

بينما يتم توصيل محولات التيار على شكل نجمة ، جهة ملف المحول الموصل دلتا كما فى شكل (١٨ – ٣)

تقسيم المجموعات الاتجاهية للمحولات طبقاً للمواصفات القياسية كالآتى :

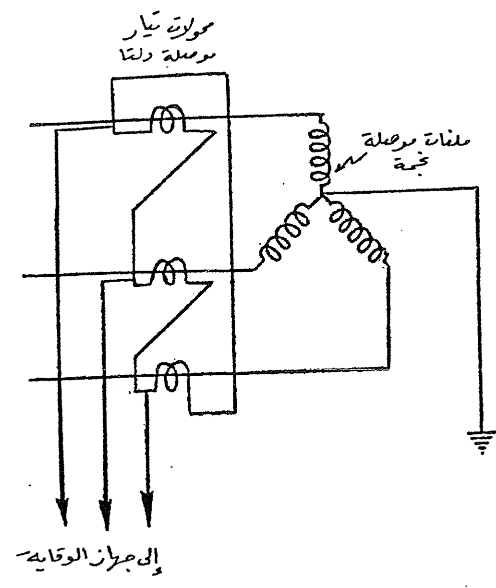
مجموعة١	نجمة / نجمة	زاوية الإزاحة صفر
مجموعة٢	نجمة / نجمة	زاوية الإزاحة ١٨٠ °
مجموعة٣	دلتا / نجمة	زاوية الإزاحة – ٣٠ °
مجموعة٤	دلتا / نجمة	زاوية الإزاحة + ٣٠ °

يوضح شكل (١٩ – ٣) طريقة توصيل جهاز الوقاية التفاضلى مع محول قدرة له مجموعة اتجاهية (نجمة / دلتا) حيث تم توصيل محولات التيار على الاوجه الثلاثة على شكل دلتا ـ نجمة (أى عكس المجموعة الاتجاهية للمحول) .

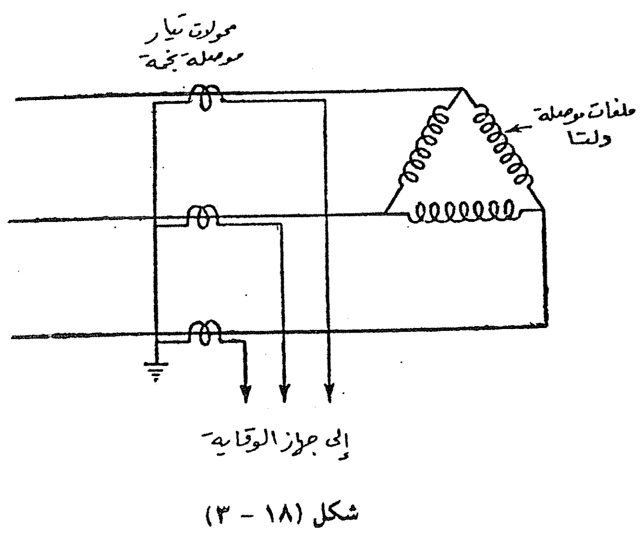
يوضح شكل (٢٠ – ٣) طريقة توصيل جهاز الوقاية التفاضلى مع محول قدرة له مجموعة اتجاهية (نجمة / نجمة) ، ويلاحظ أن محولات التيار على الاوجه الثلاثة قد تم توصيلها علي شكل دلتا – دلتا .

يمكن أن تعمل أجهزة الوقاية التفاضلية بطريق الخطأ نتيجة أحد العوامل الآتية :

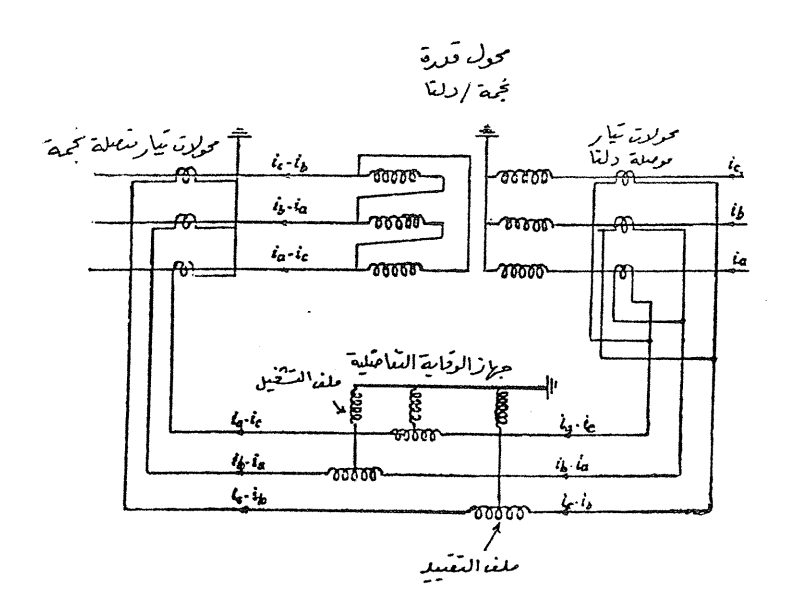
أ – إختلاف طول الأسلاك المستخدمة بين محولات التيار على جانبى المحول ، وبين خلية أجهزة الوقاية – أى عدم تساوى المسافة من محول التيار جهة الجهد المنخفض وحتى الجهاز ، والمسافة من محول التيار جهة الجهد العالى وحتى الجهاز . يتم التغلب علي



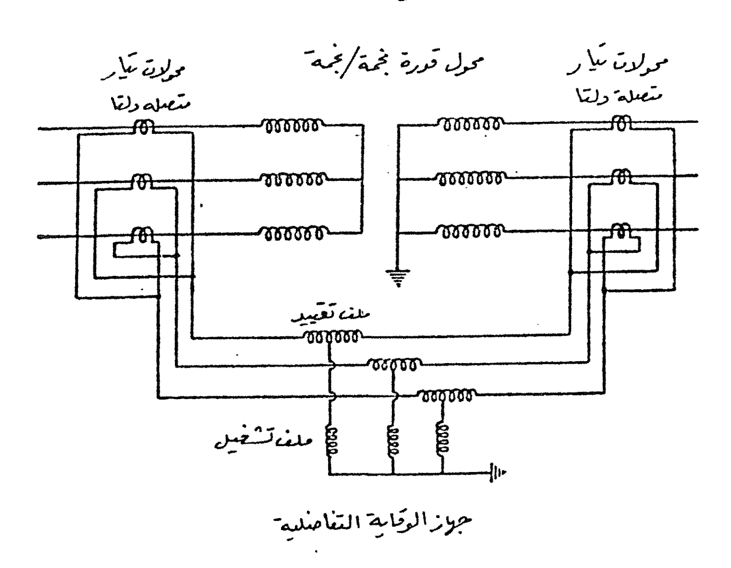
شكل (١٧ - ٣)



شكل (١٨ - ٣)



شكل (١٩ - ٣)



شكل (٢٠ - ٣)

إختلاف الأطوال هذا بإضافة مقاومة متغيرة للضبط تساوى مقاومة الأسلاك على جانبى الجهاز . أو يمكن أن يحتوى كل من ملف التشغيل وملف التقيد على نقط تقسيم متغيرة ، يمكن بإستخدامها بطريقة مناسبة الحصول على الإتزان المطلوب .

ب – إختلاف نسبة تحويل محولات التيار : ينشأ نتيجة الخطأ فى نسبة التحويل لكل من محولي التيار ، عند قيم تيارات القصر العالية ، أن يمر من ملف المتمم (R) تيار (I_0) يعمل على تشغيل جهاز الوقاية التفاضلى بطريق الخطأ . للتغلب على ذلك يكون ملف التقيد متصل على التوالى مع أسلاك التوصيل حيث يكون التيار المار فى ملف التغيير $\frac{I1 + I2}{2}$ ، ويؤدى إرتفاع قيمة هذا التيار فى ملف التقيد الى زيادة فى عزم التقيد المضاد ، وبالتالى لا يعمل الجهاز بطريق الخطأ .

جـ – يؤدى تشغيل مغير الجهد *(Tap Changer)* ، لتغيير نسبة تحويل الجهد (او التيار) لملفى الجهد العالى والجهد المنخفض للمحول ، الي جعل جهاز الوقاية التفاضلى يعمل بطريق الخطأ نتيجة تغيير التيار الثانوي ، ولذلك يفضل أن يكون الجهاز من النوع التفاضلى النسبى ، والذى يمنع التشغيل الخاطئ .

د – تيار الاندفاع المغنط *(Magnetizing Current Inrush)* : عند بدء تشغيل المحول لا توجد قوة دافعة مغناطيسية *(e.m.f.)* منتجة بالحث ، ويشبه ذلك حالة التوصيل على دائرة حثية . تكون المقاومة صغيرة جداً نسبياً ، فيمر تيار مغنطة إندفاعى كبير . قيمة هذا التيار تساوى أضعاف تيار الحمل المقنن ، ويعتمد ذلك على حالة الدائرة ، وقيمة الجهد على موجة الجهد لحظة توصيل القاطع ، وتكون أقصى قيمة يمكن الوصول إليها فى هذه الحالة حوالى من ٦ الى ٨ مرات قيمة التيار المقنن .

العوامل التى تؤثر على قيمة وزمن حدوث تيار الاندفاع المغنط هى :

– قدرة المحول

– حجم النظام

– نوعية الحديد المغناطيسى المستخدم فى صناعة القلب

– قيمة الفيض المتبقى فى القلب قبل لحظة التوصيل .

–كيفية توصيل التيار الى المحول

يحدث أقصى تيار إندفاعى إذا كانت موجة الجهد تمر بقيمة الصفر ، لحظة توصيل القاطع ، ففى هذه الحالة يكون كل من التيار والفيض فى أقصى قيمة لهما عندما تكون الدائرة حثية ، وفى منتصف الموجة يتغير الفيض فى الاتجاه ، للحصول على أقصى قيمة فى نصف الموجه التالى . وإذا وجد فيض متبقى فى المحول ، فإن الفيض المطلوب يمكن أن يكون فى نفس الاتجاه أو فى الاتجاه المعاكس ، وبالتالى فإن تيار المغنطة يمكن أن يقل أو يزيد . إذا زاد تيار المغنطة فإن هذا سيؤدى الى تشبع القلب ويترتب على ذلك مناظرة فى مركبة تيار المغنطة .

فى الترددات القليلة التالية يقل تيار المغنطة الاندفاعى بسرعة ، ثم يقل بعد ذلك ببطء أحياناً يحتاج الامر الى من ٤ الي ٦ ثوانى .

يكون ثابت الزمن لدائرة *(L/R)* متغيراً نتيجة قيمة *(L)*(تتغير بتغير معامل النفاذ المغناطيسى *(Permeability)* لمادة القلب الحديدى) . هذا ، وتتسبب المفقودات فى تخميد التيارات الاندفاعية ، ويكون ثابت الزمن للتيار الاندفاعى بين ٠,٢ ثانية و دقيقة واحدة ، معتمداً علي حجم المحول .

يوضح شكل (٢١ - ٣) موجات التيار الاندفاعى فى ثلاثة أوجه للمحول .

التيار الاندفاعى يظهر فقط بمحولات التيار المركبة على الملف الابتدائى للمحول ، ولا يتحول التيار الى الملف الثانوي الى للمحول ، وعلي ذلك فإن التيار الاندفاعى يتسبب فى تشغيل جهاز الوقاية التفاضلى ، الا اذا كان الجهاز يحتوي علي صامد للإندفاع *(Inrush Proof)* ، لتغلب على هذه الظاهرة .

قديماً كانت أجهزة الوقاية التفاضلية مجهزة بتأخير زمنى حوالي ٠,٢ ثانية ، حيث يتلاشى خلال هذا الزمن التيار الاندفاعى ، وبالتالى لا يعمل جهاز الوقاية ، ولكن أحياناً ، وعلى الرغم من وجود التأخير الزمني ، فإنه عند توصيل المحول يؤدى التيار الإندفاعى الكبير الي فصله ، وفى هذه الحالة لا يتبين من يقوم بتوصيل المحول ، هل تم فصل المحول نتيجة مرور التيار الاندفاعى او نتيجة وجود قصر حقيقى على المحول . ومن الخطأ فى هذه الحالة الإعتقاد بأن الفصل يكون راجعاً الى التيار الاندفاعي ، بينما يتصادف وجود عطل داخل المحول فيتم إعادة توصيله ، ويفصل مرة أخرى وهكذا ...

للتغلب على هذا العيب يتم إضافة عنصر تقييد تيار التوافقيات *(Harmonic*

(Restraint ، وحاجز للتوافقيات *(Harmonic Blocking)* .

يحتوى التيار الاندفاعى المغناطيسى فى بدايته على مركبات عالية الدرجة من التوافقيات الفردية والزوجية . الجدول التالى يوضح تحليل نموذجى للتوافقيات

درجة التوافقية	النسبة المئوية لإتساع التوافقية من إتساع التوافقية الاساسية
الثانية	٦٣
الثالثة	٢٦,٨
الرابعة	٥,١
الخامسة	٤,١
السادسة	٣,٧
السابعة	٢,٤

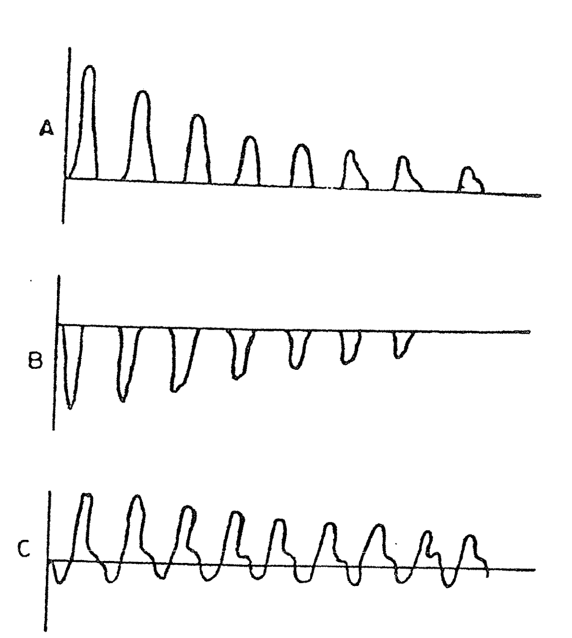
تهمل مركبات التوافقية الموجودة بتيار القصر ، وهذه القاعدة تستغل لتقييد عمل جهاز الوقاية أثناء وجود التيار الاندفاعى ، كما يظل جهاز الوقاية الذي يحتوى على عنصر تقييد للتوافقيات حساساً لتيارات القصر ، بينما لا يعمل بفعل تيارات المغنطة .

يستقبل ملف التشغيل *(Operating Coil)* المركبات الاساسية للتيار فقط . بينما يستقبل ملف التقييد *(Restraining Coil)* مجموع المركبات الاساسية والتوافقية ، بعد مرورهم على دائرة توحيد *(Rectifier)* . وعلى ذلك فإن التيار الاندفاعى المحتوى على مركبات توافقية يتسبب فى عزم تقييد أكبر ، وبالتالى لا يعمل الجهاز بفعله .

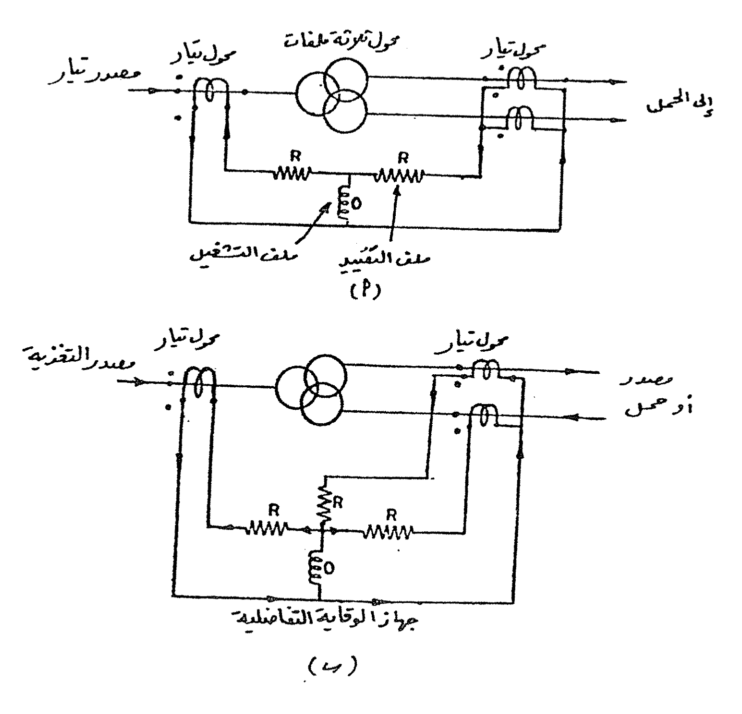
يحتوى حاجز التوافقيات *(Harmonic Blocking)* على نقط تلامس متصلة علي التوالى مع نقط تلامس جهاز الوقاية التفاضلى ، وكذلك يحتوى على مرشح حاجز ، لتردد ١٠٠ هرتز ، موصل مع ملف التشغيل ، ومرشح حاجز لتردد ٥٠ هرتز ، موصل مع ملف التقييد .

عند مرور تيار اندفاعى فإن مركبة التوافقية الثانية تكون هى الغالبة ويعمل جهاز الحجز ، بينما تظل نقط تلامس جهاز الحجز مفتوحة .

فى حين انه عند حدوث دائرة قصر فإن المركبة الأساسية (٥٠هرتز) تكون هى الغالبة ،



شكل (٢١ - ٣)



شكل (٢٢ - ٣)

وعلى ذلك يعمل جهاز الحجز ، وتقفل نقط التلامس .

الوقاية التفاضلية لمحول ذات ثلاثة ملفات :

المبادئ الاساسية موضحة فى شكلى (٢٢ - ٣) أ،ب .

اذا كان وضع التشغيل الدائم ان الاحمال مغذاه من ملفين من ملفات المحول فإنه يمكن إستخدام جهاز وقاية تفاضلى يحتوى على عدد ٢ ملف تقييد ، ويتم توصيل الجهاز كما فى شكل (٢٢ - ٣) أ

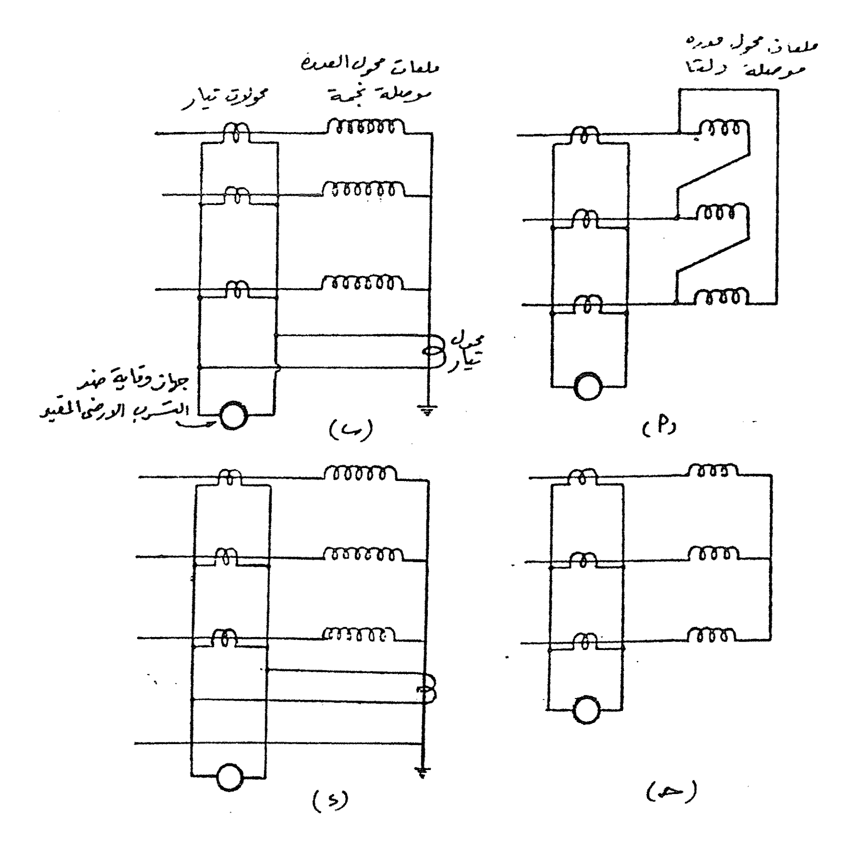
اما اذا وجد احتمال لإستخدام أحد الملفات اما مصدر تغذية او حمل ، فى هذه الحالة يستخدم جهاز وقاية تفاضلى يحتوى علي عدد ٣ ملفات تقييد ، ويتم توصيلهم كما فى شكل (٢٢ - ٣) ب

٢) وقاية الأعطال الارضية المقيد

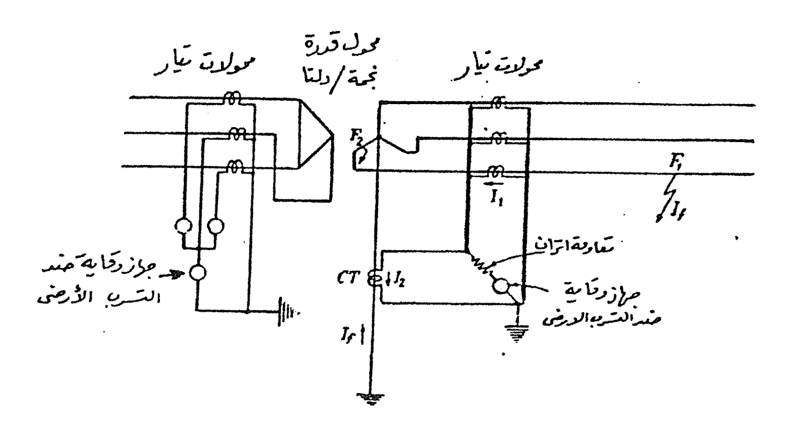
Restricted Earth Fault Protection

جهاز الوقاية ضد الاعطال الارضية يتم توصيله فى دائرة محصلة محولات التيار ، أى يتم توصيل الملفات الثانوية لمحولات التيار على التوازى ثم يتم توصيل ملف جهاز الوقاية فى دائرة التجميع لهم ، كما فى شكل (٢٣ - ٣) ، وهذا الجهاز يحمى المحول ضد الاعطال الارضية ، سواء كانت توصيلة الملفات دلتا أو نجمة غير مؤرضة . اذا كان أحد ملفى المحول موصل دلتا أو نجمة غير مؤرضة كما فى شكلى (٢٣ - ٣) أ، جـ ، فإنه بإستخدام جهاز الوقاية ضد الاعطال الأرضية المقيد ، سوف تتم حماية المحول من الاعطال الارضية على هذا الملف فقط . بينما يوضح الشكلان (٢٣ - ٣) ب ، د طريقة توصيل جهاز الوقاية فى حالتى توصيلة ملف المحول نجمة مؤرضة ذات ثلاثة اطراف أو أربعة أطراف .

يوضح شكل (٢٤ - ٣) محول قدرة موصل نجمة / دلتا ، حيث يتم توصيل جهاز ضد الأعطال الارضية المقيد على الناحية الموصلة نجمة فى حالة حدوث قصر عند الموضع F_1 يمر التياران I_1،I_2 بالملفات الثانوية المحولات التيار ، ويمر بالجهاز محصلة التيارين I_1،I_2، وهى تهمل لصغرها ، بينما عند حدوث قصر عند الموضع F_2 فانه يمر تيار I_2 فقط الذى يعمل على تشغيل الجهاز. وعلى ذلك لا يعمل جهاز الوقاية ضد الاعطال الارضية فى حالة حدوث قصر بعد محولات التيار .



شكل (٢٣ - ٣)



شكل (٢٤ - ٣)

عند حدوث قصر قريب جداً من نقطة تعادل المحول ، يكون التيار المار صغيراً ، وعلى ذلك يجب ان يكون الجهاز ذا حساسية عالية ، وغالباً ما يعمل الجهاز عند حوالى ١٥ ٪ من قيمة التيار المار بملفات المحول .

٣) الوقاية ضد زيادة التيار *Over Current Protection*

يعتبر تركيب جهاز وقاية تفاضلى لمحولات القدرة أقل من ٥ م.ف.أ مكلفاً ، ويكفى فى حالة هذه المحولات تركيب جهاز وقاية ضد زيادة التيار ، لحماية المحول ضد أنواع القصر .

فى حالة محولات القدرة أكبر من ٥ م. ف. أ تكون الوقاية الرئيسية هى جهاز الوقاية التفاضلى ، ويركب جهاز وقاية ضد زيادة التيار كوقاية احتياطية للأعطال خارج المنطقة المحمية بالاضافة الى جهاز ضد الاعطال الارضية (تسرب أرضى) . وفى حالة محولات التوزيع التى تبلغ قدرتها ٥٠٠ ك. ف. أ ، يكفى تركيب مصهرات ذات سعة قطع كبيرة جهة الجهد العالى للمحول .

يجب أن يتحمل المحول الاجهادات الحرارية والميكانيكية ، التى تحدث نتيجة الأعطال الخارجية (*External Short Circuit or Through Faults*) تبعاً للآتى :

– قيمة جذر متوسط مربع التيار المتماثل *r.m.s of Symmeterical Current* فى أى ملف لاتزيد عن ٢٥ مرة من قيمة التيار الاساسى للملفات .

– زمن دائرة القصر الخارجية تحدد تبعاً للجدول الآتى المنصوص عليه بالمواصفات الامريكية *ANSI C 57 - 12.00 - 1968*

نسبة جذر متوسط مربع التيار المتماثل فى الملفات (عدد مرات من التيار الأساسى)	زمن الدورة بالثانية	Z % للمحول
٢٥	٢	٤
٢٠	٣	٥
١٦,٦	٤	٦
١٤,٤	٥	٧

حيث أن جهاز الوقاية التفاضلى لا يكشف الأعطال الخارجية فأنه اذا استمر العطل الخارجى على المحول لمدة زمنية طويلة ، سيحدث انهيار بالمحول نتيجة الاجهادات الحرارية .

تعزل الأعطال الخارجية عن طريق جهاز الوقاية ضد زيادة التيار ويمكن أن يكون مصحوباً بجهاز ضد انخفاض الجهد ، أو وقاية ضد التعاقب الصفرى (Zero Sequence Protection)، أو وقاية ضد التعاقب السالب (Negative Sequence Protection)

٤) الوقاية ضد تعدى الحمل *Over Load Protection*

تعتمد درجة السماح بزيادة الحمل ومدتها ، على نوع التبريد ودرجة العزل للمحول .

يسمح بتعدى الحمل لمدة زمنية مقيدة تبعاً للجدول الآتى :

نسبة التحميل المئوية	١٢٥	١٥٠	١٧٥	٢٠٠	٣٠٠
زمن التحميل (دقيقة)	١٢٥	٤٥	١٥	١٠	١

جهاز الوقاية ضد تعدى الحمل يعطى اشارة انذار ، بعد تأخير زمنى محدد ، وفى بعض الاحيان يجهز بحيث يعطى اشارة فصل لقاطع التيار بعد هذا الزمن المحدد .

٥) الوقاية ضد ارتفاع الفيض *Over Flux Protection*

يحدث ارتفاع الجهد اجهادات على العزل ، وفى نفس الوقت يرفع قيمة الفيض مما يؤدى الى زيادة قيمة مفقودات الحديد ، كما تزيد قيمة تيار المغنطة ، ويصل الفيض المغناطيسى فى القلب الى حالة التشبع ، مما يتسبب فى انحرافه بين الشرائح الى اجزاء الهيكل .

وفى الحقيقة فانه عند ارتفاع قيمة الفيض فى القلب ، تمر بمسامير ربط القلب مركبة كبيرة للفيض ، مما يعمل على تسخينها ، وانهيار العازل حولها . واذا استمرت الحالة على هذا النحو ، فقد ينهار عزل الملفات ايضاً . ويحدث نفس هذا التأثير اذا انخفض التردد ، كما يتبين من المعادلة الاساسية للفيض ، حيث

$$\Phi = K\frac{E}{F}$$

حيث :

Φ = قيمة الفيض المغناطيسى

E = الجهد المسلط

F = التردد (هرتز)

K = ثابت

وعلى ذلك فان جهاز الوقاية ضد ارتفاع الفيض يعمل لقياس النسبة $\frac{E}{F}$ ، فيتم تدريجه بدلالة هذه النسبة من ١ الى ١,٢٥ ، غالبا يضبط الجهاز على ١,١ لحماية المحول من حدوث ارتفاع فى الفيض ، وبالتالى حدوث انهيارات فى العزل .

حماية المحولات المتصلة على التوازى :

تكون اجهزة الوقاية الضرورية فى حالة محولات متصلة على التوازى (بالاضافة الى الوقاية الاساسية : التفاضلية والغازية) عبارة عن :

- جهاز وقاية ضد زيادة التيار
- جهاز وقاية ضد الاعطال الارضية
- جهاز وقاية ضد زيادة التيار - اتجاهى
- جهاز وقاية ضد الاعطال الارضية - اتجاهى

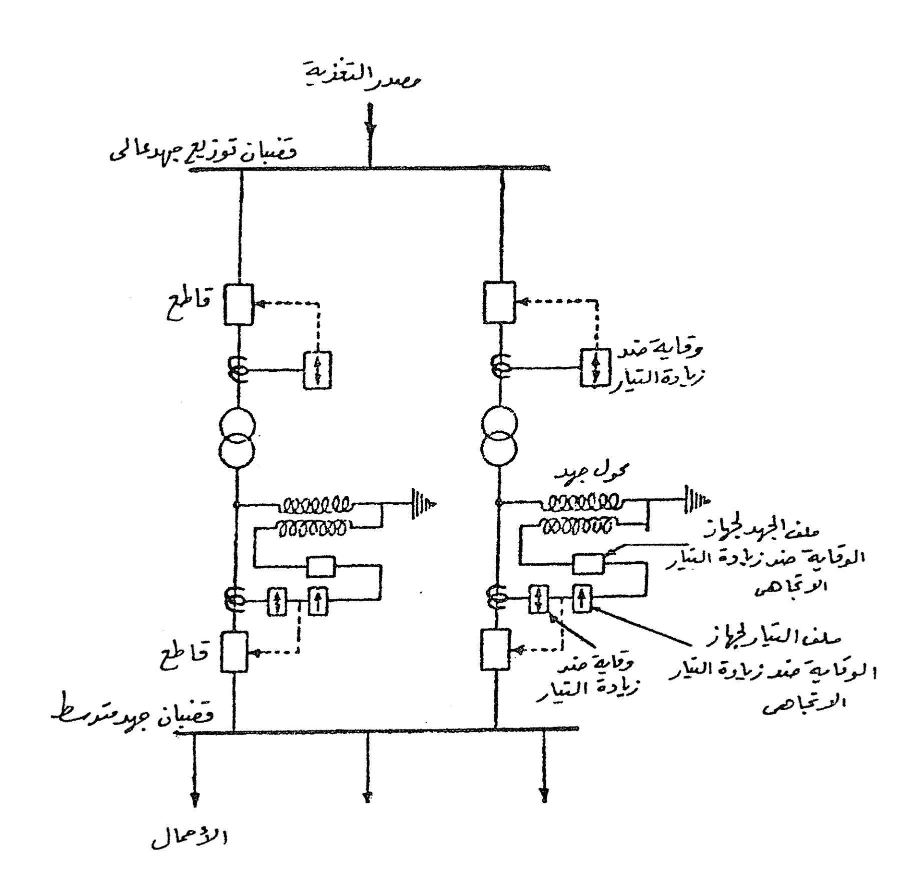
هذا وتركب الوقاية الاتجاهية على جانب الجهد المنخفض للمحول ، لمنع المغذيات السليمة من تغذية القطاع العاطل .

شكل (٢٥ - ٣) يوضح توصيل هذه الاجهزة على محولين متصلين على التوازى .

ثانيا : اجهزة الامان :

بالاضافة الى اجهزة الوقاية الكهربائية يتم تجهيز المحولات باجهزة امان وتحذير منها :

- مقياس مستوى السائل *Fluid Level Gauge*
- مقياس ضغط التفريغ *Vacuum Gauge*


مصدر التغذية
قضبان توزيع جهد عالى
قاطع
وقاية ضد
زيادة التيار
محول جهد
ملف الجهد لجهاز
الوقاية ضد زيادة التيار
الاتجاهى
قاطع
ملف التيار لجهاز
الوقاية ضد زيادة التيار
الاتجاهى
وقاية ضد
زيادة التيار
قضبان جهد متوسط
الأحمال

شكل (٢٥ - ٣)

- مفتاح ضغط تفريغ *Pressure / vacuum Swith*
- صمام تنفيس الضغط *Pressure Relief Valve*
- متممات الحد من القابلية للاشتعال *Combustible Limit Relays*
- مبينات درجات الحرارة ، وهى
- مبين درجة حرارة السائل *Fluid Temperature Indicator*
- مبين درجة حرارة النقطة الساخنة *Hot Spot Temperature Indicator*
- مبين درجة حرارة الغاز *Gas Temperature Indicator*

يعتمد استخدام هذه الاجهزة على نوع المحولات ، كما يتضح من الجدول الآتى :

نوع المحول / الجهاز	مملوء بالزيت	مملوء اسكاريل	تهوية جافة	جاف محكم الغلق
١ . مقياس مستوى السائل	✓	✓		
٢ . مقياس تنفيس الضغط	✓	✓		✓
٣ . صملم الضغط	✓	✓		
٤ . جهاز الضغط المفاجئ (معدل ارتفاع الضغط)	✓	✓		✓
٥ . مفتاح ضغط تفريغ				
٦ . مبين درجة حرارة السائل	✓	✓		
٧ . مبين درجة حرارة النقطة الساخنة	✓	✓	✓	✓
٨ . مبين درجة حرارة الغاز				✓

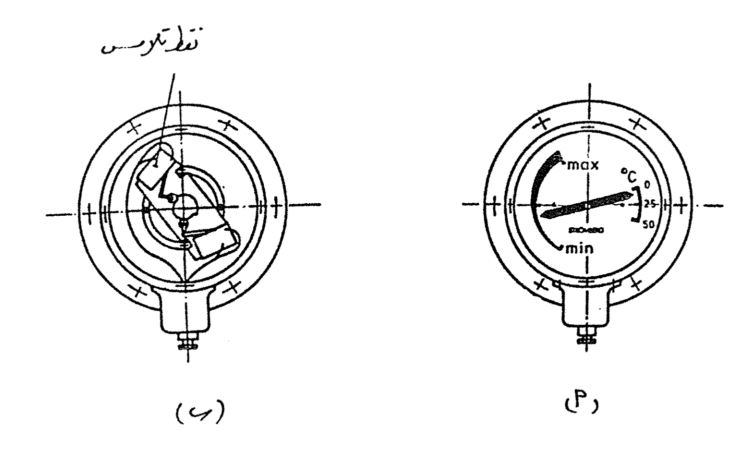
١ – مقياس مستوى السائل

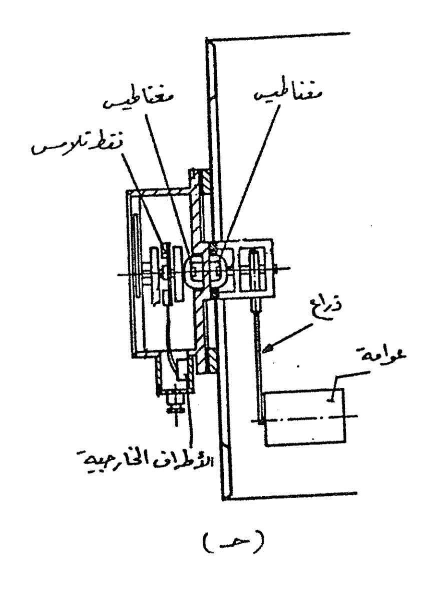
Low Oil Level or Fluid Level Gauge

يعتبر إنخفاض مستوى السائل داخل المحول ، عند المستوى المحدد له ، ضاراً ، نظراً لتعرض العوازل الداخلية والاطراف النهائية للهواء ، فى هذه الحالة .

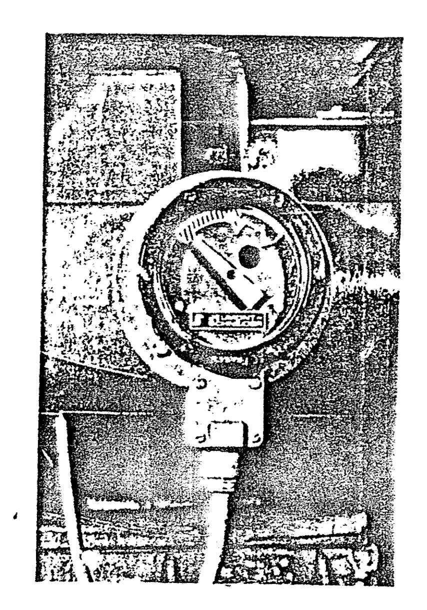
قد ينخفض مستوى السائل نتيجة لما يأتى :

- خطأ مبدئى عند ملء الزيت حتى العلامة المرقومة

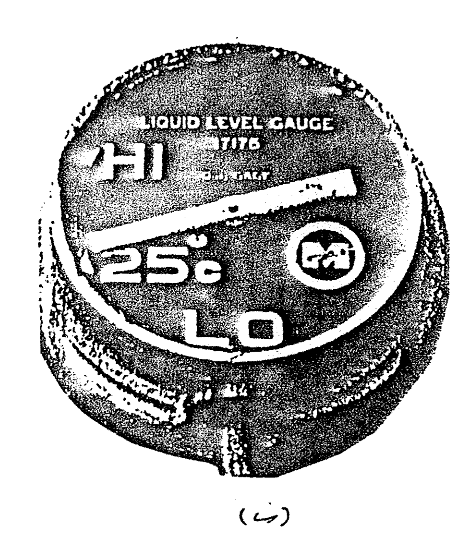

نقط تلامس
max
°C
0
25
50
min
(ب)
(أ)


مغناطيس
مغناطيس
نقط تلامس
ذراع
عوامة
الأطراف الخارجية
(جـ)

شكل (٢٦ - ٣)



(أ)



(ب)

شكل (٢٧ - ٣) الصور الفعلية لما جاء في شكلى (٢٦ - ٣) أ ، ب

- وجود تسرب فى الزيت من خلال الخزان .

عندما تكون درجة حرارة جزء من أنابيب التبريد منخفضة ، أو تصبح درجة حرارة الأنابيب قريبة من درجة حرارة الجو المحيط ، فإن هذا يعطى دلالة على أن دورة تبريد الزيت غير طبيعية ، وأن مستوى الزيت منخفض ، وغالباً أقل من المستوى المطلوب . ويعطى مبين مستوى الزيت فى هذه الحالة انذاراً ، من المحتمل أن يكون زائفاً ، ولذلك يلزم الكشف على مبين مستوى الزيت .

يتصل مقياس مستوى السائل بعوامة *(Float)* ، وذراع *(Arm)* . تعلق العوامة فى الزيت ، وعندما ينخفض مستوى الزيت تميل العوامة بالذراع ، الذى يوصل نقط تلامس تعطى انذاراً ، ويكون مقياس مستوى السائل محتوياً على نقطتى تلامس لإنخفاض وإرتفاع مستوى الزيت . يوضح شكل (٢٦ - ٣) مكونات مقياس مستوى السائل من النوع المغناطيسى ، ويكون مثبتاً على أحد جانبى الخزان الاحتياطى . شكل (٢٧ - ٣) يوضح نوعين من أنواع مبينات مستوى الزيت . كما يمكن إستخدام زجاجة لبيان مستوى الزيت ، تثبت علي الخزان الاحتياطى .

٢ - أجهزة تعمل بالغازات *Gas Actuated Devices*

خلال الاعطال الداخلية ، تحت مستوى الزيت ، تسبب درجة حرارة القوس تحليل للزيت ، فتتجمع الغازات الناتجة من هذا التحليل فى مخدة الهواء ، فوق مستوى الزيت ، وتصعد الى الخزان الاحتياطى للمحول . ولذلك فإن معدل تصاعد الغازات يعتمد على قيمة تيار القصر ، وجهد القوس الكهربى ، و يتراوح جهد القوس الكهربى بين ٥٠ و ٢٠٠ ڤولت . بينما يكون معدل تصاعد الغازات فى حدود من ٥٠ الي ٢٠٠ سم^{٣} / كيلو وات ثانية . وقد يكون العطل قصراً فى اللفات الداخلية ، أو قصر أرضى ، أو قصر بين وجهين ... ويمكن من خلال تحليل الغازات الناتجة عن هذا القوس الكشف عن نوع العطل .

الأجهزة المستخدمة لهذا الغرض هى :

- أجهزة تنفيس الضغط *Pressure Relief Devices*
- متمم معدل إرتفاع الضغط *Rate of Rise Pressure Relay*
- متمم تجمع الغازات (البوخهلز) *Gas* Accumulater *Relay or Buchholz Relay*

أ) متمم الضغط وتنفيس الضغط

Pressure Relief and Pressure Relay

يثبت هذا الجهاز على السطح العلوى للخزان الرئيسى للمحول ، ويكون الغرض منه التنفيس عن ضغط الغاز بإطلاقه الي الجو المحيط عند :

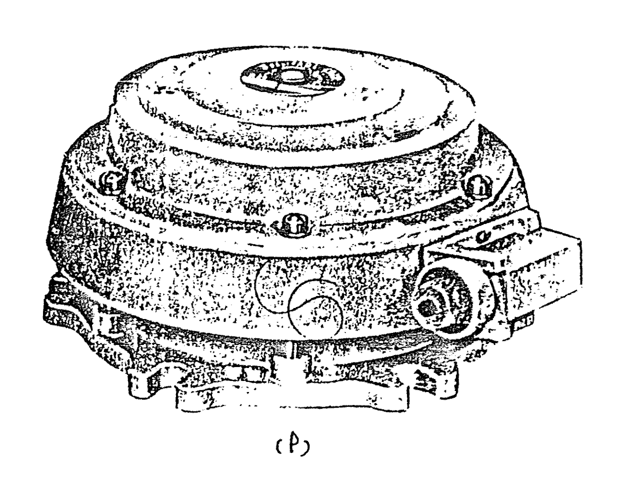
- الذروات العالية لتعدى الحمل *(High Overload Peaks)*
- تعديات حمل ممتدة لفترة طويلة *(Prolonged Over Load)*
- أعطال مؤدية لحدوث قوس فى الزيت *(Arcing Faults Within oil)*

شكل (٢٨ - ٣) أ يوضح شكل متمم تنفيس الضغط ، بينما شكل (٢٨ - ٣) ب يوضح مقطعاً فى هذا الجهاز .

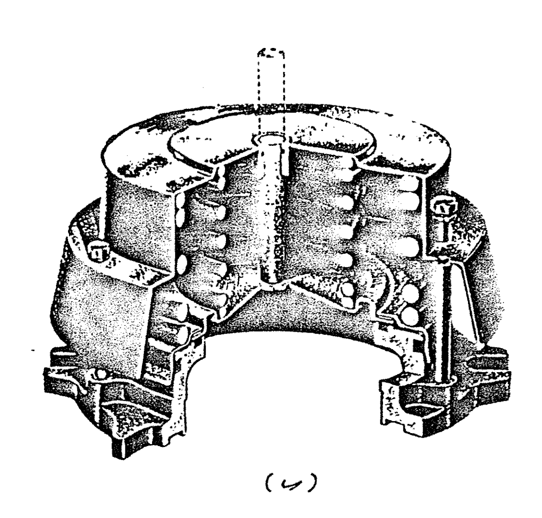
صمام تنفيس الضغط عبارة عن زنبرك مضغوط (ياى) *(Spring Loaded)* ، وقاعدة مزودة بمانع تسرب محكم *(Seal Seat)* ونقط تلامس . شكل (٢٩ - ٣)أ يوضح الوضع العادى للصمام . عند زيادة الضغط داخل الخزان ، بقيمة أعلى من قيمة معينة ، تتعدى القوة المؤثرة على الجزء المتحرك من الصمام قوة الزنبرك ، فيؤدى ذلك الى فتح الصمام ، كما فى شكل (٢٩ - ٣)ب ، عندئذ تقفل نقط التلامس ، وتعطى انذاراً . هذا ويمكن أن يجهز الصمام بحيث يعطى إشارة بفصل قاطعى التيار للمحول ، وفى هذه الحالة يجب ، بعد التنفيس عن الضغط ، أن يتم إعادة وضع الصمام يدوياً .

ب - متمم معدل ارتفاع الضغط *Rate of Rise Pressure Relay*

متمم معدل إرتفاع الضغط لا يستجيب للضغط الساكن *(Static Pressure)* ولكنه يستجيب لمعدل ارتفاع الضغط الناتج من قوس كهربى داخلى . والعنصر الرئيسى لحساسية الضغط الفعلى عبارة عن مفتاح دقيق مثبت داخل منفاخ معدنى . ولا يؤثر الضغط الساكن على المنفاخ ، أما الضغط الديناميكى فيضغط على المنفاخ ويؤدى الى تشغيل المفتاح الدقيق ، كما فى شكل (٣٠ - ٣) .

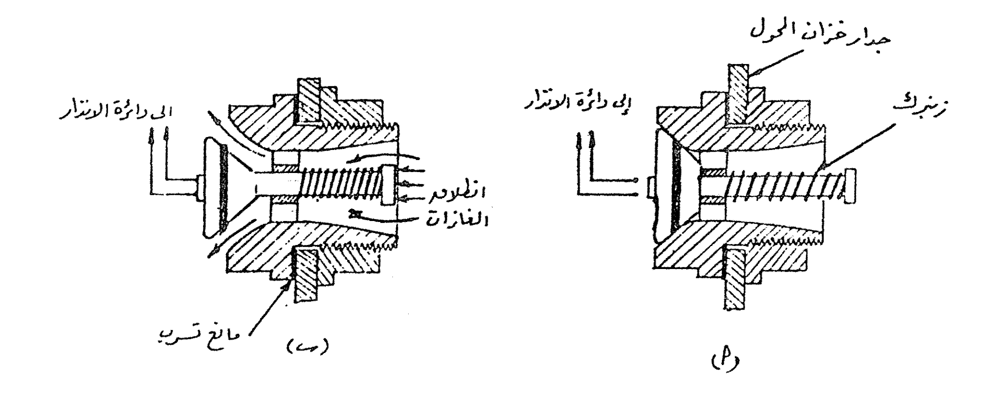


(أ)

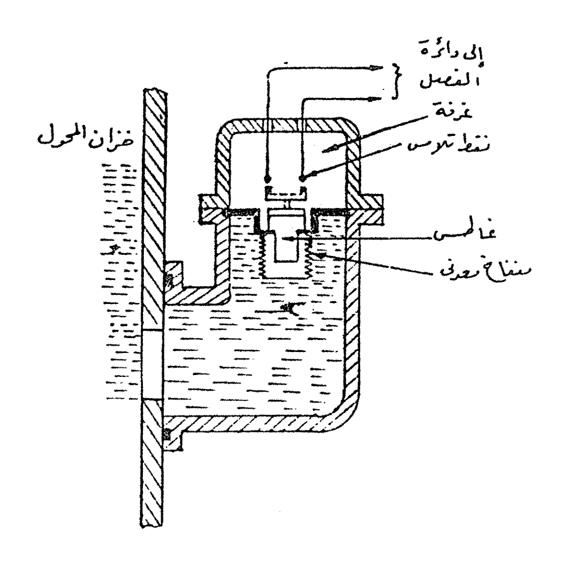


(ب)

شكل (٢٨ - ٣)



شكل (٢٩ - ٣)



شكل (٣٠ - ٣)

جـ – متمم الوقاية الغازية (البوخهلز) *Buchholz Relay*

يكون تشغيل جهاز البوخهلز عادة فى بداية العطل الحادث تحت مستوى الزيت داخل المحول ، ويؤدى الى قفل نقط تلامس تعطى إشارات إنذار . حيث أن القوس الناتج عن القصر يؤدى الي تحليل الزيت ، ونظراً لإحتواء ناتج التحليل على أكثر من ٧٠٪ من غاز الهيدروچين ، وهو يعتبر خفيف الوزن ، مما يساعد علي إرتفاع الغازات الي أعلى فى إتجاه الخزان الاحتياطى . ويثبت متمم الوقاية الغازية على الانبوبة الواصلة بين الخزان الرئيسى والخزان الاحتياطى .

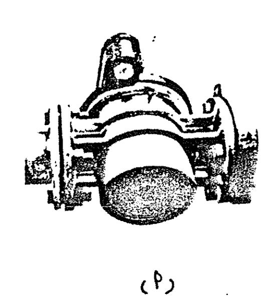
شكل (٣١ – ٣) أ يوضح شكل جهاز البوخهلز ، بينما يوضح شكل (٣١ – ٣)ب مقطعاً فى هذا الجهاز .

عند حدوث عطل داخل المحول يحدث تحلل للزيت ، ينتج عنه غازات تتجمع فى الجزء العلوى لجهاز البوخهلز ، وعلى ذلك ينخفض مستوى الزيت بالجهاز. تطفو العوامة بميل ، داخل الجهاز ، وتقفل نقط تلامس المفتاح الزئبقى ويعطى إشارة انذار ببداية حدوث عطل داخل المحول ، مما يفضل معه فصل المحول وأخذ عينة زيت للإختبار والتحليل ، حيث توضح نتيجة التحليل نوع العطل الحادث ، وبذلك يمكن حماية المحول من استمرار العطل الداخلى .عند حدوث دائرة قصر خطيرة داخل المحول ، فإن الضغط يزداد داخل المحول ويندفع الزيت الى أعلى فى إتجاه الخزان الاحتياطى ، فيمر من خلال جهاز الوقاية الغازية . ونتيجة لإندفاع الزيت بقوة ، فإن العوامة الثانية تعمل على توصيل نقط تلامس المفتاح الزئبقى المتصل بها وهو يعطى اشارة بفصل قاطع التيار الرئيسى للمحول وبالتالى خروج المحول من الخدمة .

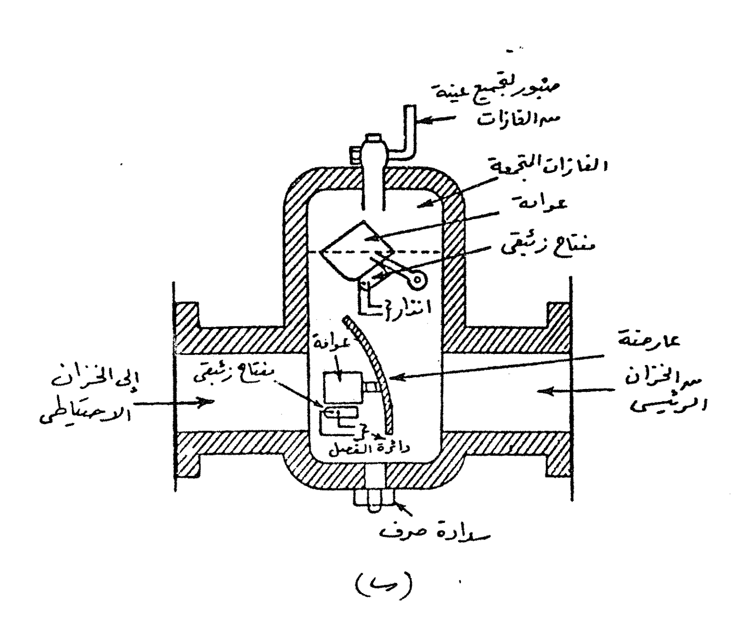
تؤخذ عينة من الغازات المتجمعة فى الجزء العلوى من جهاز البوخهلز ، حيث تختبر من حيث : اللون ، القابلية للإحتراق ، التركيب الكيميائى ... ومن هذا التحليل يمكن معرفة نوع العطل . هذا ويبدأ تحلل الزيت داخل المحول عند حوالى ٣٥٠° م .

فى حالة إنخفاض مستوى الزيت عن حد معين ، نتيجة التسرب فى زيت المحول ، فإن متمم الوقاية الغازية يعطى إنذار فقط .

يستخدم هذا المتمم فى المحولات المحتوية على خزان احتياطى فقط ، وكما ذكر سابقاً ، فإن جهاز البوخهلز يثبت على الانبوبة الواصلة بين الخزان الرئيسى و الخزان الاحتياطى ، كما فى شكل (٣٢ – ٣) . وتكون مواصفات الانبوبة كالآتى :



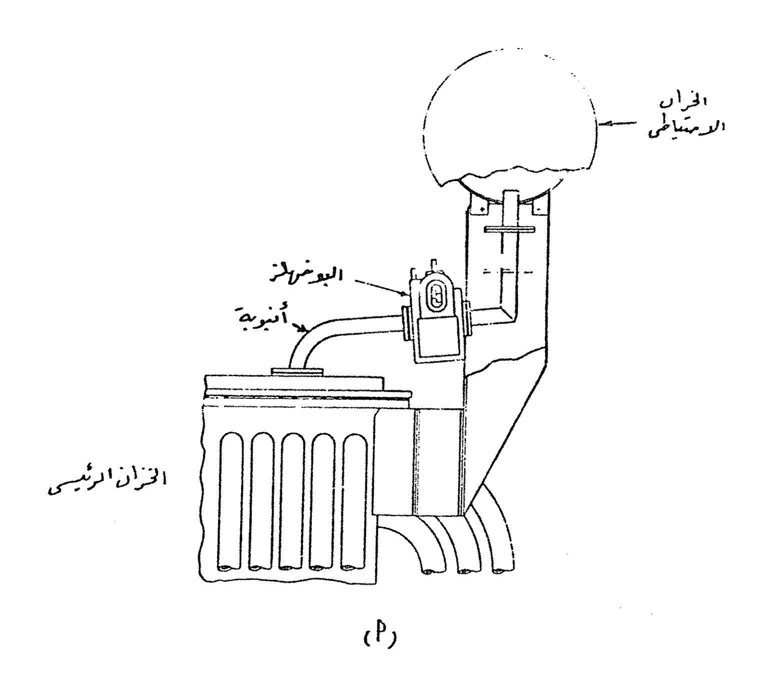
(أ)



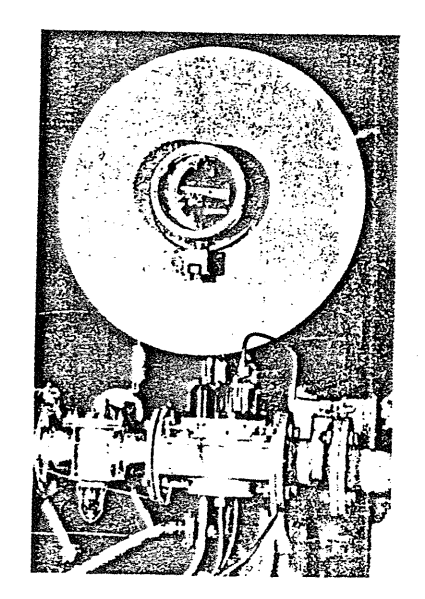
صنبور لتجميع عينة
من الغازات
الغازات المتجمعة
عوامة
مفتاح زئبقى
انذار
عارضة
عوامة
مفتاح زئبقى
دائرة الفصل
إلى الخزان
الاحتياطى
من الخزان
الرئيسى
سدادة صرف

(ب)

شكل (٣١ - ٣)



(أ)



(ب)

شكل (٣٢ - ٣)

القطر الداخلى للأنبوبة :

فى المحولات حتى ١ م.ف.أ.	٢٥ مم
للمحولات من ١ م.ف.أ. وحتى ١٠ م.ف.أ.	٥٠ مم
للمحولات أكبر من ١٠ م.ف.أ.	٨٠ مم

يراعى أن تكون أوضاع الانبوبة كالآتى :

– ميل الانبوبة على المستوى الافقى حوالى ١٠ الى ١١°

– لا يقل بعد مكان تركيب متمم الوقاية الغازية عن جسم المحول ، مقاساً على الخط المائل ، عن ٥ أمثال قطر الانبوبة الداخلى .

– المسافة بين متمم الوقاية الغازية وحتى الخزان الاحتياطى ، مقاساً على الخط المائل ، لا تقل عن ٣ أمثال قطر الانبوبة الداخلى وهذا واضح بشكل (٣٣ – ٣) .

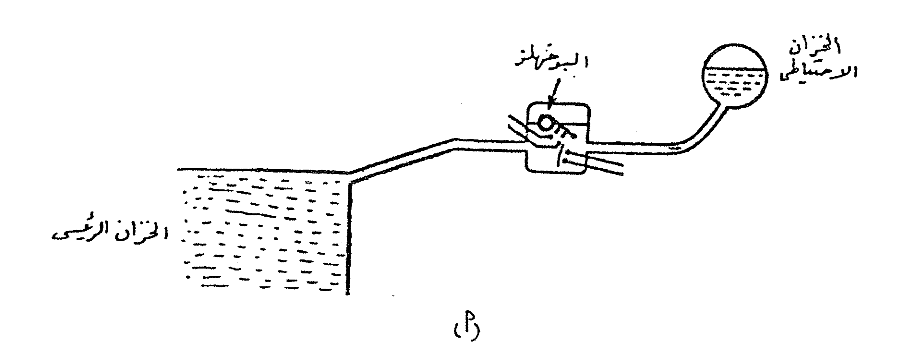
لا يعتبر المفتاح الزئبقى من الاجهزة عالية الحساسية ، حيث يمكن أن يتم تشغيله بالطريق الخاطئ ، نتيجة الاهتزازات ، الزلازل ، هزات ميكانيكية للأنبوبة ..

يعتبر المتمم بطئ التجاوب لأن أقل زمن لتشغيله عبارة عن ٠,١ ثانية ، بينما متوسط زمن التشغيل ٠,٢ ثانية . ولكنه يعتبر جهازاً ممتازاً لإعطائه تنبيهاً لبداية حدوث قصر .

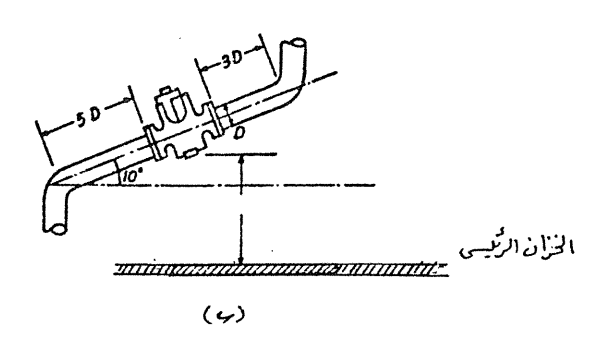
لا تجهز المحولات أقل من ٥٠٠ ك.ف.أ. بمتتم وقاية غازية ، لإعتبارات اقتصادية ، بينما يضاف متمم وقاية غازية آخر للمحولات المحتوية على غرفة مستقلة لمغير الجهد ، للكشف عن أعطال الزيت لغرفة مغير الجهد .

يمكن التعرف على طبيعة العطل بالمحول وسبب اشتغال متمم الوقاية الغازية وذلك بفحص الغازات المتصاعدة كالآتى :

حالة الغازات	مصدر العطل
– عديم اللون والرائحة وغير قابل للإشتعال	يوجد هواء داخل المحول
– عديم اللون والرائحة وقابل للإشتعال	عطل داخل المحول
– أبيض او رمادى	ورق العزل
– أصفر	أجزاء خشبية
– أسود	زيت


البوخهلز
الخزان
الاحتياطي
الخزان الرئيسي

(أ)


5D
3D
D
10°
الخزان الرئيسي

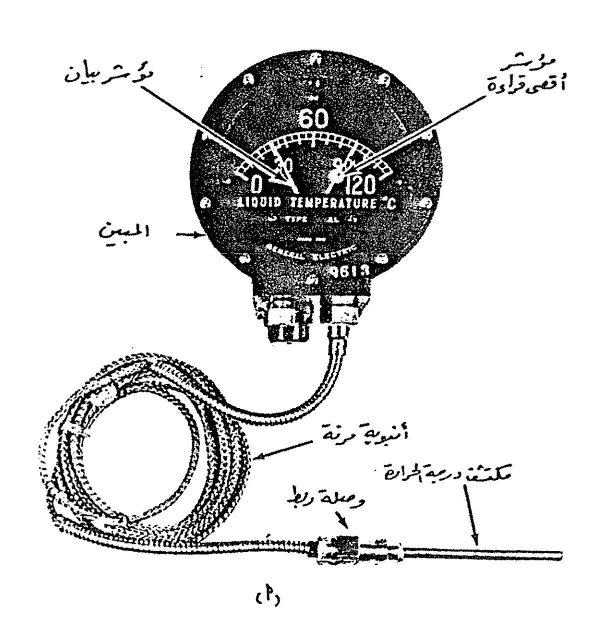
(ب)

شكل (٣٣ - ٣)

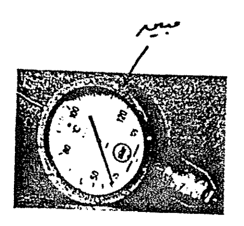
٣ - أجهزة بيان درجة الحرارة Temperature Indicating Devices

للموازنة بين حماية المحول من الارتفاع الزائد فى درجات الحرارة ، والسماح فى الوقت نفسه للمحول بالتحميل عن أقصى درجة حرارة مسموح بها ، فقد زودت جميع المحولات بأجهزة حماية ، وأجهزة لبيان درجة الحرارة . فمثلاً محولات التوزيع الصغيرة تجهز بقاطع يوصل على التوالى فى دائرة الملف الثانوى ، ويثبت خارج المحول ، فيمر تيار الحمل فى هذا القاطع ، ويحتوى القاطع علي شريحة من إزنواج معدنى *(Bimetallic Strip)* . تتأثر هذه الشريحة بزيادة التيار او إنخفاضه مما يؤدى الى إرتفاع درجة حرارتها أو إنخفاضها، وتتأثر ايضاً عند إرتفاع درجة حرارة الزيت أو إنخفاضه بنفس الدرجة ، وبالتالى فإن حالة الشريحة تمثل درجة الحرارة فى ملفات المحول . وعند وصول درجة حرارة الشريحة الى أقصى درجة حرارة تشغيل مسموح بها للملفات يفصل القاطع آلياً .شكل (٣٤ - ٣) يوضح أبسط أنواع الاجهزة المستخدمة لقياس درجة حرارة الزيت ، إنتاج شركة *(General Electric)* الامريكية ، والجهاز عبارة عن ترمومتر كحولى ، مغمور فى زيت ساخن ، ومتصل بأنبوبة مرنة حتى المبين . عند إرتفاع درجة حرارة الزيت يسخن الكحول فى تجويف الترمومتر *(bulb)* ، فيتمدد ويزيد الضغط فى الانبوبة المرنة وينتقل الى مؤشر المبين ، فيتحرك فوق تدريج درجات الحرارة وعند إنخفاض درجة الحرارة ، ينخفض الضغط ويتحرك المؤشر فى إتجاه الانخفاض على التدريج . تجهز بعض هذه المبينات بمؤشرين أحدهما يشير الى أقصى درجة حرارة مسموح بها ، ويشير الاخر الى درجات الحرارة الفعلية . ويجهز المبين عادة بنقط تلامس تقفل عند درجات حرارة مختارة ، تستخدم فى تشغيل مراوح التبريد أو المضخات (فى حالة نظام تبريد يحتوى على مضخة) أو تعطى أشارة إنذار أو تفصل المحول . شكل (٣٥ - ٣) يوضح نوع آخر من أجهزة قياس درجة الحرارة إنتاج السويد ، شكل (٣٦ - ٣) أ يوضح الدائرة الداخلية لهذا النوع .

فى محولات القدرة الكبيرة يستخدم ترمومتر لقياس درجة حرارة الملفات وهو موضح فى شكل (٣٧ - ٣) أ. يعطى هذا الترمومتر قراءة درجة حرارة أعلى نقطة سخونة بالملفات *(Hottest Stop)* يتكون الجهاز من عنصر ترمومترى (مقاومة أو مستودع زئبقى أو مزدوج حرارى) يوضع فى تجويف به زيت فى أعلى مستوي للزيت فى الخزان ، ويتصل بالدوائر الثانوية لمحول تيار (يمثل تيار الحمل بالملفات) شكل (٣٦ - ٣) ب يوضح الاتصال بين المقاومة ومحول التيار ومبين درجة الحرارة . يتم توصيل محول التيار على أحد أوجه المحول

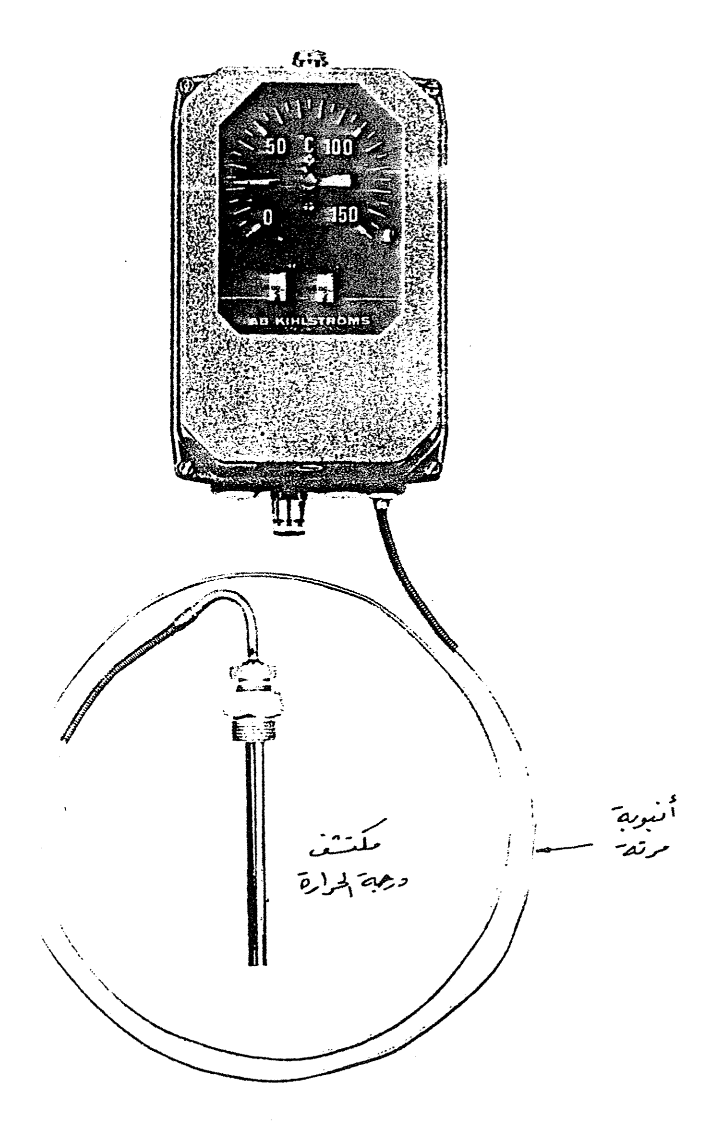

مؤشر بيان
مؤشر
أقصى قراءة
60
0
120
LIQUID TEMPERATURE °C
المبين
أنبوبة مرنة
مكشاف درجة الحرارة
وصلة ربط

(أ)

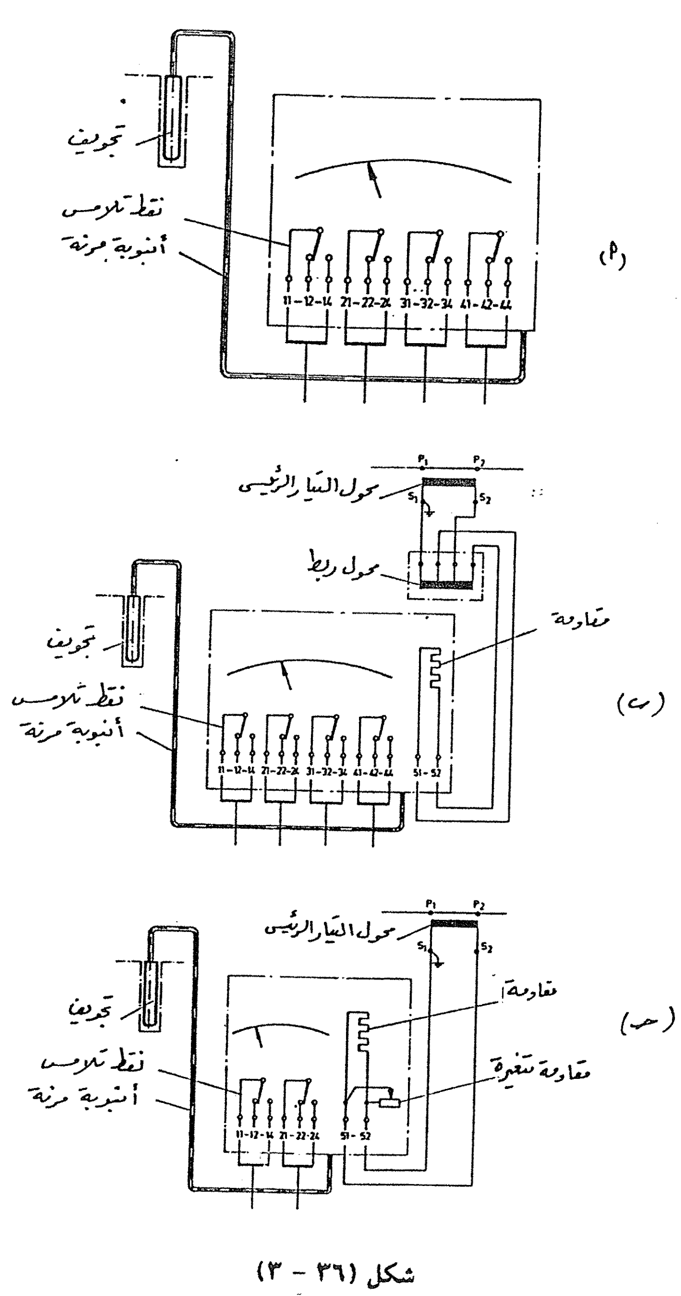

مبين

(ب)

شكل (٣٤ - ٣)



شكل (٣٥ - ٣)


تجويف
نقط تلامس
أنبوبة مرنة
(أ)
11 - 12 - 14
21 - 22 - 24
31 - 32 - 34
41 - 42 - 44
محول التيار الرئيسي
محول ربط
مقاومة
(ب)
51 - 52
محول التيار الرئيسي
مقاومة
مقاومة متغيرة
(جـ)

شكل (٣٦ - ٣)

فقط (ملفات أحد الاوجه فقط) . المبين مجهز بنقطتى تلامس تستخدم لاعطاء أنذار أو فصل القاطع ، أو تشغيل مجموعة مراوح التبريد .

شكل (٣٥ - ٣) يمكن أن يكون أيضاً جهاز لقياس درجة حرارة الملفات إذا تم تجهيزه بمقاومة داخلية ، كما فى الدائرة المكافئة له فى شكلى (٣٦ - ٣) ب ، جـ . شكل (٣٨ - ٣) يعطى توضيحاً للإتصال بين تجويف الترمومتر ، وملف التسخين ، ومحول التيار .

يمكن إستخدام طريقة أخرى لقياس درجة حرارة الملفات ، وهى ما يعرف بطريقة القنطرة ، كما فى شكل (٣٩ - ٣) . فى هذه الحالة لا يستخدم ترمومتر ، ولكن يتم توصيل محول تيار على ملفات المحول . ويتم توصيل الملف الثانوى لمحول التيار مع ملف تسخين *(Heating Coil)* ، مع العلم بأن كمية الحرارة المولدة فى هذا الملف تتناسب مع كمية الحرارة الناتجة من ملفات المحول . يتم وضع مقاومة حثية داخل ملف التسخين ، والتى يتصل طرفيها مع القنطرة ، كما تغذى القنطرة بدائرة تيار مستمر *(d.c)* . عند مرور تيار بملف المحول ترتفع درجة حرارة ملف التسخين ، وبالتالى ترتفع درجة حرارة المقاومة ، وتصبح القنطرة فى حالة عدم إتزان . يستدل على حالة عدم إتزان القنطرة من خلال ڤولتمتر مدرج ، بحيث يعطى قراءة مباشرة لدرجة الحرارة . فى حالة التحميل العادى تكون القنطرة متزنة . وأى حالة عدم إتزان للقنطرة يعطى مؤشراً بإرتفاع درجة حرارة الملفات .

مثال لضبط مبين درجة حرارة الزيت :

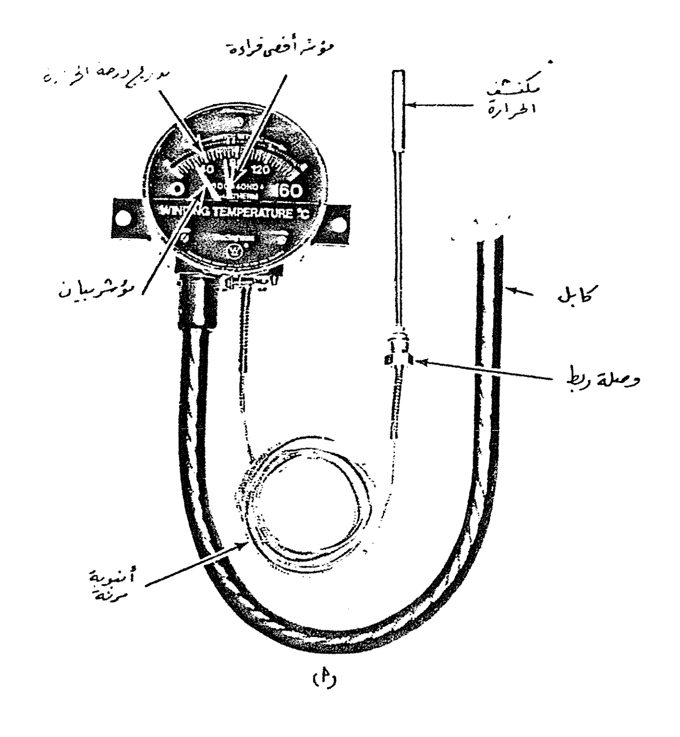
- درجة حرارة تشغيل المراوح ٥٥ °م
- درجة حرارة اعطاء إنذار ٩٥ °م
- درجة حرارة فصل القاطع ١٠٥ °م

جهاز المتنفس (أو جهاز السليكاجيل)

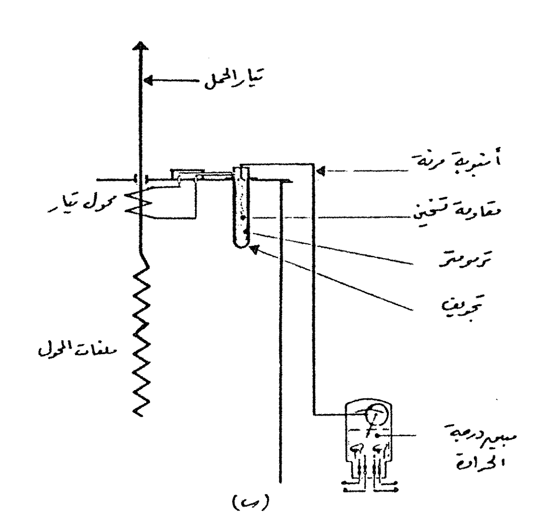
Dehydrating (Desiccator or Silica-gel)

الجهاز عبارة عن أنبوبة إما أن تكون معدنية تحتوى على فتحات بيان أو زجاجية أو من البلاستيك ، مملوءة بالملح البلورى القابل للتشبع بالرطوبة ، وهو نوع من الاحماض السليكونية . عندما يتشبع الملح بالرطوبة يتغير لونه من الازرق الى البنفسجى .

الغرض من الجهاز إمتصاص الرطوبة من الهواء الداخل للمحول ، بحيث يكون جافاً ،

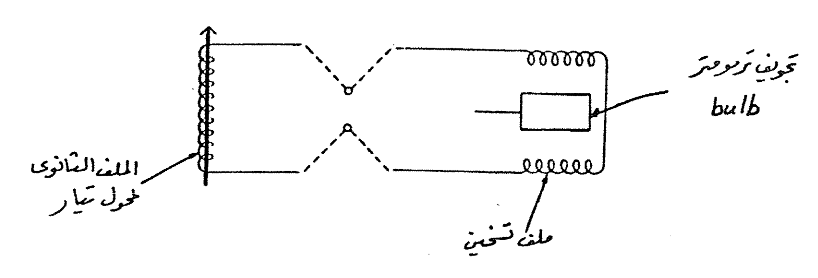

مؤشر أقصى قراءة
مكتشف
الحرارة
WINDING TEMPERATURE °C
120
160
مؤشر بيان
كابل
وصلة ربط
أنبوبة
مرنة

(أ)

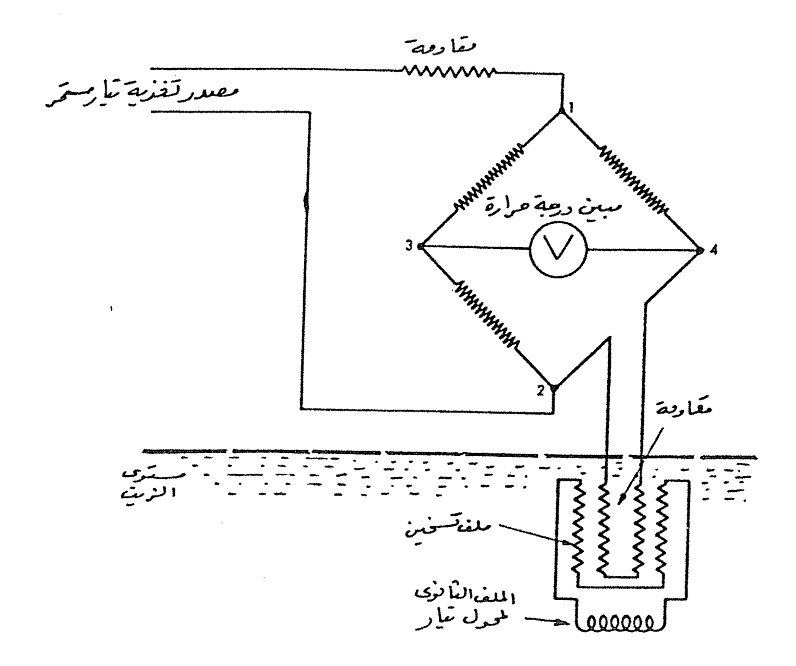

تيار الحمل
أنبوبة مرنة
محول تيار
مقاومة تسخين
ترمومتر
تجويف
ملفات المحول
مبين درجة
الحرارة

(ب)

شكل (٣٧ - ٣)



شكل (٣٨ - ٣)



شكل (٣٩ - ٣)

وكذلك يجب منع دخول الاتربة والشوائب والتى قد تكون عالقة بالهواء ، ولهذا فإن الجهاز يحتوى على إناء صغير به زيت أسفل السليكاجيل .

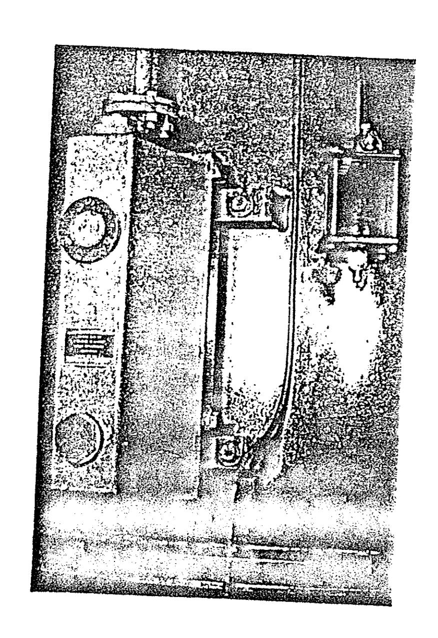
من المعلوم أن حجم الزيت يتغير بتغير الحمل ودرجة الحرارة ، وأثناء تغير حجم الزيت ، فى حيز خزان المحول ، يتم دخول وخروج الهواء ، مثل عملية التنفس ، وعلى ذلك فإن الهواء الداخل يمر من خلال السليكاجيل ، فيكون جافاً وخالياًمن الرطوبة والاتربة والمواد العالقة . يثبت الجهاز على جسم المحول ويتصل بالخزان الاحتياطى . ويجب تغيير السليكاجيل عندما يتغير لون حوالى ٨٠٪ من حجمها الى اللون البنفسجى،ولا يفضل أن تترك حتى يتغير لون الكمية كلها . شكل (٤٠ – ٣) جـ يوضح جهاز متنفس صناعة " جومو شنيدر " الفرنسية مصنوع من المعدن ، ويحتوى على فتحة زجاجية ليكشف على صلاحية السليكاجيل من خلالها .

شكل (٤١ – ٣) يوضح فكرة إشتغال جهاز المتنفس ، حيث يوضح شكل (٤١ – ٣) أ أنه لا يوجد أى إتصال بين الهواء الداخل الى المحول وبين الهواءالمحيط ، حيث أن الهواء الجوى يمر أولاً بالزيت للتخلص من أى شوائب ، ثم يمر على السليكا جيل لضمان تجفيف الهواء . شكل (٤١ – ٣) ب يبين عملية خروج الهواء (أى عملية زفير) بينما شكل (٤١ – ٣) جـ يبين عمليةدخول الهواء (أى عملية شهيق) .

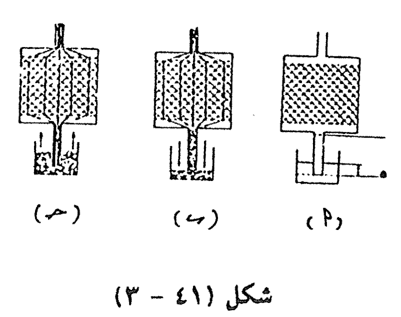
شكل (٤٢ – ٣) يوضح جهاز متنفس إنتاج شركة " شترومبرج " فنلندا ، وهو عبارة عن أنبوبة زجاجية ، أو نوع خاص من البلاستيك ، ويمكن إستخدام أكثر من أنبوبة على حسب حجم المحول وقدرته . شكل (٤٣ –٣) أ يوضح مقطع فى أنبوبة المتنفس وتدل الاسهم فيها على أتجاه دخول الهواء (عملية الشهيق) بينما شكل (٤٣ – ٣) ب تدل الاسهم فيه على إتجاه خروج الهواء (عملية زفير) .

ثغرة تفريغ الشرارة *Spark Gap*

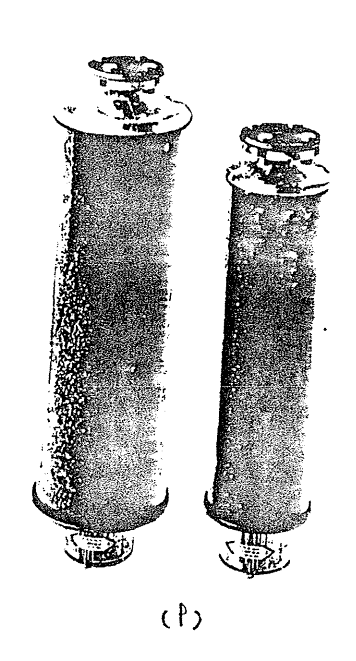
الغرض من ثغرة التفريغ هو تحييد الجهود الزائدة ، التى يمكن أن يتعرض لهاالمحول ، والتى تظهر بين طرفى الثغرة . فعند تعرض المحول لجهد ضارب *(Flash Over)* مثلاً ، فإنها تحمى المحول من أى جهد زائد ، حيث يضرب هذا الجهد شرارته بين طرفى الثغرة ، بعيداً عن المحول . شكل (٤٤ – ٣) يوضح ثغرة تفريغ الشرارة .



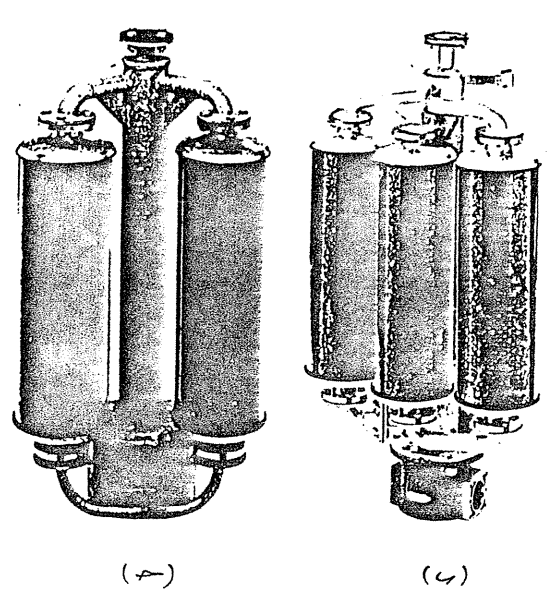
شكل (٤٠ - ٣)



شكل (٤١ - ٣)

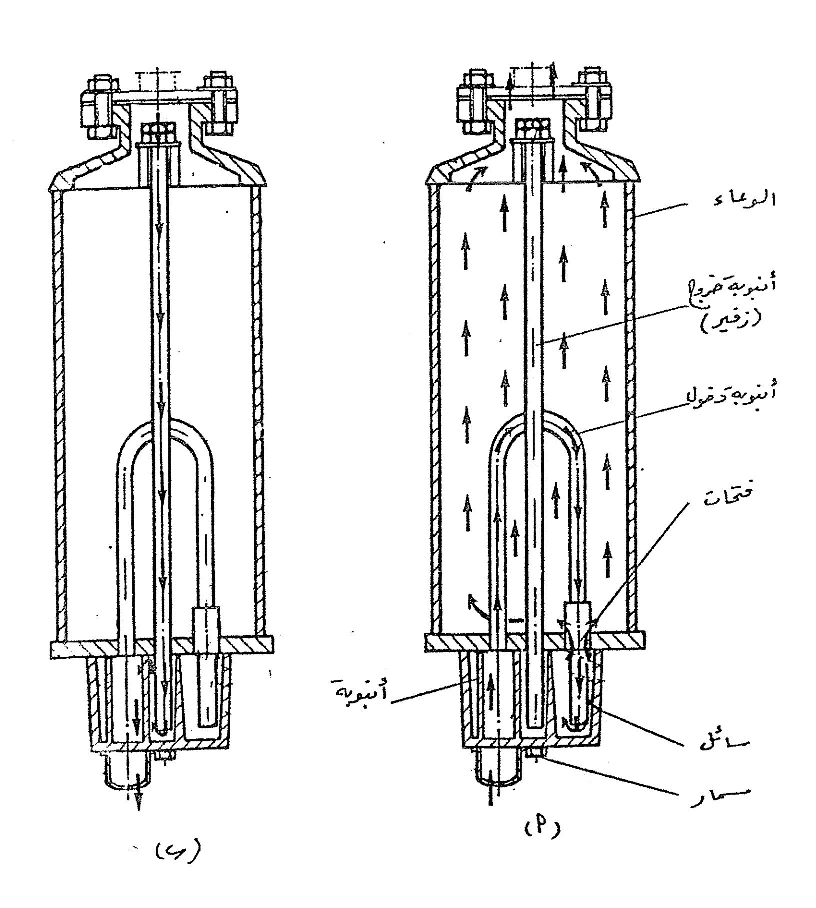


(أ)



(حـ) (ب)

شكل (٤٢ - ٣)



الوعاء
أنبوبة خروج
(زفير)
أنبوبة دخول
فتحات
أنبوبة
سائل
مسمار
(أ)
(ب)

شكل (٤٣ - ٣)

مانعة الصواعق *Surge Arresler*

يتم توصيل مانعات الصواعق ، ذات خاصية المقاومة غير الخطية، بين الوجه والارض ، على الاوجه الثلاثة للمحول ، وذلك لحماية المحول من الجهود الزائدة الناتجة من عمليات توصيل وفصل قواطع التيار ، وكذلك ، من الجهود الزائدة الناتجة من العوامل الجوية .

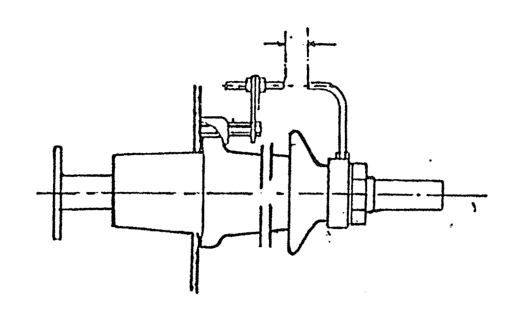
أى أن مانعة الصواعق توصل الى الارض التموجات ذات الضغوط العالية ، التى تهاجم الشبكة الكهربائيــة ، خصوصاً عند حدوث الصواعق . شكل (٤٥ – ٣) يوضح مانعة صواعق .

الحماية بتأريض الخزان *Tank Earth Protection*

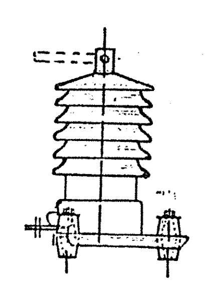
في المحولات ذات نقطة التعادل المؤرضة ، فإنه إذا حدث قصر مع الارض يمر تيار كبير من خزان المحول الى الارض . فى هذه الحالة يسمح بعزل المحول عن الارض . وغالباً يتم وضع محول تيار على الوصلة بين الخزان والارض ، حيث يتم توصيل الملف الثانوى لمحول التيار على جهاز وقاية بدلالة التيار (مثل أجهزةالتسرب الارضى) ، فيعطى أمراً بفصل القاطع عند حدوث قصر .

شكل (٤٦ – ٣) يوضح هذه الطريقة

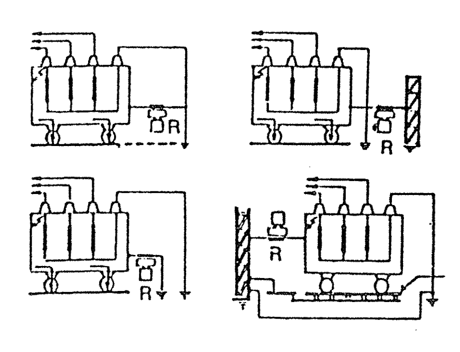
جدول (١ – ٣) يوضح بعض الاعطال التى يمكن حدوثها بالمحولات وأجهزة الوقاية التى تعمل نتيجة العطل .



شكل (٤٤ - ٣)



شكل (٤٥ - ٣)



شكل (٤٦ - ٣)

جدول (١ - ٣)

العطل	الوقاية	ملاحظات
- بداية عطل تحت مستوي الزيت ، مثلاً بداية قصر بين وجهين أو وجه والارض ، يؤدى الى حدوث تحلل للزيت	١ - إنذار لجهاز الوقاية الغازية ٢ - جهاز الضغط المفاجىء ٣ - صمام تنفيس الضغط	جهازالوقاية الغازية يستخدم مع المحولات ذات القدرة أكبر من ٥٠٠ ك.ف.أ.
- قصر داخلى بين وجهين أو بين وجه والارض (تحت مستوي الزيت)	١ - فصل بجهازالوقاية الغازية .	- جهاز الوقاية الغازية يعتبر بطيء وأقل حساسية . - جهاز الوقاية الغازية لمغير الجهد .
- قصر فى مغير الجهد	١ - فصل بجهاز الوقاية الغازية	.
- تشبع الدائرة المغناطيسية	١ - وقاية ضد زيادة الفيض ٢ - وقاية ضد إرتفاع الجهد .	لوحدات مكونة من محول ومولد أو لمحولات كبيرة للتغذية
- قصر أرضى	١ - وقاية تفاضلية ٢ - وقاية ضد الاعطال الارضية	للمحولات أكبر من ٥ م.ف.أ. - جهاز ضد القصر الارضى مقيد لحظى - جهاز ضد القصر الارضى بتأخير زمنى
- قصرخارج المنطقة الحمية	١ - وقاية ضد زيادة التيار بتأخير زمنى . ٢ - مصهرات ذات سعة القطع كبيرة .	وقاية محولات التوزيع محولات توزيع حتى ٥٠٠ ك.ف.أ.
- زيادة الحمل	١ - وقاية حرارية ضد زيادة الحمل . ٢ - جهاز إنذار درجة الحرارة	مبينات درجة الحرارة موجودة على جسم المحول وبلوحة التحكم يبدأ عمل المراوح عند درجة حرارة معينة .
- إرتفاع مفاجيء فى الجهد نتيجة صواعق أو توصيل وفصل قواطع التيار .	١ - ثغرة قرنية *Horn gap* ٢ - مانعة صواعق	يتم إضافة مانعات صواعق على خطوط التغذية .

٤ - ٣ اختبارات المحول *Transformer Testing*

يتم اختبار جميع المحولات بالمصنع للتأكد من مطابقتها للمواصفات وللتأكد كذلك من عدم وجود أى اعطال . أحياناً بعض هذه الاختبارات تعاد بعد نقل المحول الى مكان التركيب ، وبعض الاختبارات تجرى دورياً بعد التركيب . او عند حدوث عطل بالمحول .

تقسم الاختبارات كالآتى :

الاختبارات الدورية *Routin Tests*

تجرى هذه الاختبارات على جميع المحولات بالنسبة لما يأتى :

- نسبة تحويل الجهد والقطبية *Voltage Ratio and Polarity*
- مقاومة الملف *Winding Resistance*
- جهد المعاوقة ، معاوقة دائرة القصر ، فقد الحمل

Impedance Voltage , Short Circuit Impedance and Load Loss

- اختيار العزل *Dielectric Test*

* مصدر جهد متردد منفصل *Separate Source A.C. Voltage*

* جهد زائد متولد بالتأثير *Induced Over Voltage*

- مفقودات اللاحمل والتيار *No - Load Losses and Current*
- مغير الجهد عند الحمل *On - Load Tap Changers*

اختبارات نوعية *Type Tests*

- اختبار ارتفاع درجة الحرارة *Temperature - Rise Test*
- اختبار دفعة الجهد الناتجة من الصواعق *Lightning Impulse Test*

اختبارات خاصة *Special Test*

يتم الاتفاق على هذه الاختبارات بين الصانع والمشترى

- اختبارات العزل *Dielectric Tests*

- معاوقة مركبة التعاقب المرحلى الصفرية فى المحول ثلاثى الأوجه

Zero Sequence Impedance on 3 - phase Transformer

- اختبار دائرة القصر *Short Circuit Test*

- أختبار مستوى الضوضاء *Acoustic Sound Level*

- التوافقية الناشئة فى حالة اللاحمل *Harmonics on the No-Load Current*

- القدرة المسحوبة عن طريق المراوح ومحركات طلمبات تبريد الزيت

Power Taken by Fan and Oil Pump Motors

سنذكر فيما يلى بعض الاختبارات الأكثر شيوعاً التى تتم على محولات القدرة او محولات التوزيع .

١ - قياس المقاومة *Resistance Measurement*

يتم بهذا الاختبار قياس مقاومة ملفات المحول ، حيث يتم تسليط تيار مستمر *(d,c)* ، ذى قيمة معروفة ، على الملف المراد اختباره ، ثم يتم قياس الجهد بين طرفى الملف ، تبعاً لقانون أوم ، فان مقاومة الملف بالاوم تكون $(R=E/I)$ حيث E الجهد المقاس بين طرفى الملف .I التيار المار فيه . يجب الا يزيد التيارالمسلط على الملف عن ١٥ ٪ من قيمة تيار الحمل الكامل للمحول ، وذلك لتجنب زيادة سخونة الملفات . يجب قياس درجة حرارة الزيت أو الهواء المحيط بالملفات (فى حالة محول جاف) ، فى نفس لحظة قياس مقاومة الملفات ، والتى تعطى دلالة لدرجة حرارة الملفات ، لان المقاومة تتغير مع درجة الحرارة .

(يرجع الى طريقة الاختبار الكاملة)

٢ - اختبار نسبة التحويل *Ratio Test*

يتم ذلك بتسليط مصدر تيار متردد ذى تردد عادى ، على أحد ملفى المحول ، ويتم قياس الجهد على طرفى الملف الآخر (الثانوى) ، فتكون النسبة بين الجهدين المقاسين مساوية لنسبة التحويل للمحول .

اذا كان المحول يحتوى على نقط تقسيم *(Tap Changing)* فيجب أن يؤخذ الملف بالكامل فى الاعتبار .

٣ - اختبار القطبية *Polarity Test*

يتم إختبار قطبية المحول بإستخدام تيار متردد ، ولكن إذا لم يتوافر جهد متردد ذو قيمة صغيرة ، فانه يمكن عمل الاختبار بإستخدام تيار مستمر (d.c) (بطارية فى العادة) كالآتي :

- يغذى أحد الملفات ، الابتدائى مثلاً ، من مصدر التيار المستمر بقيمة عبارة عن نسبة صغيرة من الجهد المقنن للمحول .

- يتم توصيل ڤولتميتر *(d.c)* بين طرفى الملف الآخر (الثانوى مثلاً) بطريقة تجعل المؤشر يتحرك بحرية .

- تفتح دائرة الـ *(d.c)* ، فيتحرك مؤشر الڤولتميتر ، إما فىالاتجاه الصحيح على تدريج القياس أو فى الاتجاه المعاكس (الناحية السالبة للتدريج) ، فإذا تحرك الموشر فى الاتجاه الصحيح فإن الطرف الموجب فى الملف الابتدائى يقابله الطرف الموجب فى الملف الثانوى ، بينما إذا تحرك المؤشر فى الاتجاه المعاكس فإن الطرف الموجب فى الملف الابتدائى يقابله الطرف السالب ، فتعاد التجربة ، لكى تتأكد من صحة ترقيم الملفات

٤ - إختبارات العزل *Dielectric Tests*

الاختبار بالجهد المتسلط *Test by Applied Voltage*

يتم توصيل الدائرة كما فى شكل (٤٧ - ٣) حيث يتم تسليط الجهد لمدة دقيقة واحدة .

الاختبار بإستخدام جهد زائد متولد بالتأثير

Test by Induced Voltage

يتم توصيل الدائرة كما فى شكل (٤٨-٣) حيث يتم تسليط ضعف قيمة الجهد عند تردد عالى ، للتغلب على تشبع القلب المغناطيسى ، بزمن يقابل ٦٠٠٠ دورة . يكون الجهد خطى خلال الملفات وترتفع قيمة الاجهادات بين الملفات وبين النقط المختلفة للملفات .

اختبار التفريغ الجزئى *Partial Discharge Test*

يستخدم هذا الاختبار لقياس الشحنة بين عزل الملفات أو بين عزل الملفات وجسم المحول . ويتم القياس خلال اجراء الاختبار باستخدام جهد زائد حتى . يتسبب تفريغ الشحنة فى تغيير مفاجئ فى الجهد مع الارض ، عند كل أطراف الملفات بالمحول .

لايمكن قياس تفريغ الشحنة مباشرة ولكن يتم القياس عن طريق *Narrow Band* او *Wide Band* شكل (٤٩-٣) يوضح الدائرة المستخدمة لقياس تفريغ الشحنة تكون المقاومة Z_e مساوية ٥٠ أوم .

الاختبار بالدفعة *Impulse Tests*

يتم هذا الاختبار باستخدام مولد ، ومكثف متصل على التوازى للشحن ، ومكثف متصل على التوالى للتفريغ ، تحدد قيمة الموجه باستخدام

- جهد الشحن *Voltage of The Charge*
- عدد المراحل على التوالى *Number Of Stages in Series*
- انخفاض الجهد *Voltage Drop*

يمكن ايجاد شكل الموجه باستخدام :

- ثوابت المولد *Generator Constant (R,C)*
- المعاوقة الكلية *Total Impedance*

دفعة الجهدالناتجة من الصواعق *Lightning Impulse*

تنتقل الموجه كاملة الناتجة من ارتفاع الجهد نتيجة العوامل الجوية عن طريق خطوط الجهد العالى . شكل (٥٠ - ٣) يوضح الدائرة المستخدمة للاختبار لمحول ذات مجموعة اتجاهية *YNdII*

شكل (٥١-٣) يوضح شكل الموجه الكاملة الناتجة من الصاعقة ، ويلاحظ أن :

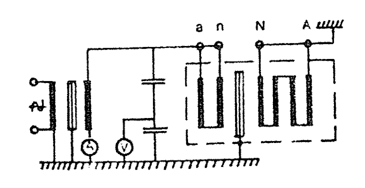
T_1 = زمن صدر الموجه = ١,٢ ميكروثانية ± ٣٠ ٪ .

T_2= زمن نهاية الموجه = ٥٠ ميكرو ثانية ± ٢٠ ٪

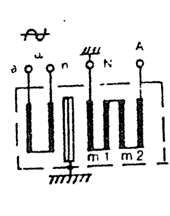
بينما T تساوى ١ / ١,٦٧ من قيمة T_1

يوضح شكل (٥١ - ٣) ب الموجه المسطورة ويلاحظ ، ان T_1 ,T_2 لهما نفس القيمة كما فى حالة الموجه الكاملة فى شكل (٥١-٣) أ ، بينما T_C تساوى من ٢ إلى ٦ ميكروثانية

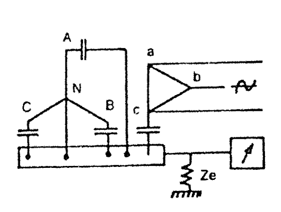
يكون تتابع موجات الاختبار بالدفعة الكاملة عبارة عن موجات دفعية قيمة الجهد فيها من



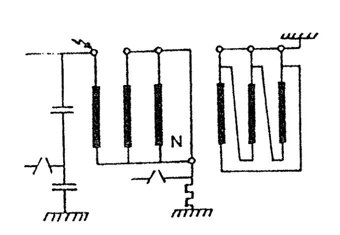
شكل (٤٧ - ٣)



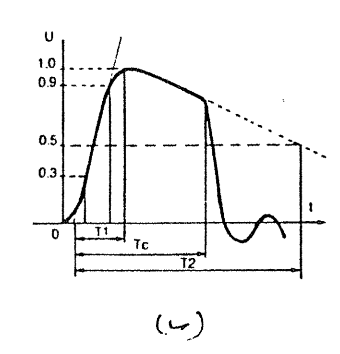
شكل (٤٨ - ٣)



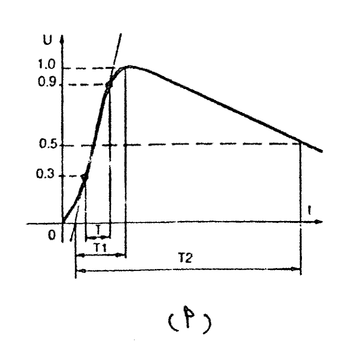
شكل (٤٩ - ٣)



شكل (٥٠ - ٣)



(ب)



(أ)

شكل (٥١ - ٣)

٥٠ ٪ الى ٧٥ ٪ من قيمة جهد الاختبار ، ثم ثلاثة موجات دفعية عند قيمة مساوية للجهد الكلى .

دفعة الجهد الناتجة من عمليات التشغيل *Switching Impulse*

شكل (٥٢-٣) أ يوضح الدائرة المستخدمة لاختبار محول بهذه الطريقة ذى مجموعة اتجاهية *YNdII*

شكل (٥٢-٣) ب يوضح شكل الموجه وفيها :

T_1 = زمن صدر الموجه ويكون أكبر من ٢٠ ميكروثانية = ١,٦٧ من قيمة T

T_2= أكبر من ٢٠٠ ميكروثانية عند $V \geq 0.9\ V_c$

T_3= زمن وصول الموجه الى الصفر ويكون أكبر من ٥٠٠ ميكروثانية

ويكون تتابع موجات الاختبار بالدفعه كما فى الحالة السابقة

٥ - مفقودات اللاحمل والتيار

(ذكرت فى ١ - ٣)

٦ - اختبار دائرة القصر

(ذكر فى ١ -٣)

٧ - اختبار ارتفاع درجة الحرارة

(ذكر فى ٣-٣)

٨ - قياس المعاوقة *Impedance Measurement*

المعاوقة التى تظهر على لوحة بيان المحول يمكن ايجادها بإتباع الخطوات التالية كما فى شكل (٥٣ - ٣) :

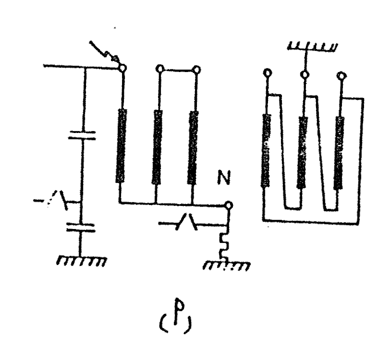
١ - وصل أمبيرومتر على التوالى مع الملف الثانوى للمحول (أى أن الملف الثانوى يقصر) .

٢ - وصل مقاومة متغيرة على التوالى مع الملف الابتدائى

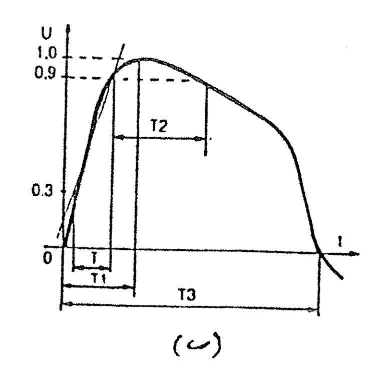
٣ - وصل ڤولتميتر على طرفى الملف الابتدائى

٤ - يتم تسليط جهد على الدائرة الكلية للملف الابتدائى ويضبط من خلال تغير المقاومة حتى نصل بالتيار فى الملف الثانوى الى ما يساوى تيار الحمل الكامل للمحول .

٥ - تؤخذ قراءة ڤولتميتر على طرف الملف الابتدائى

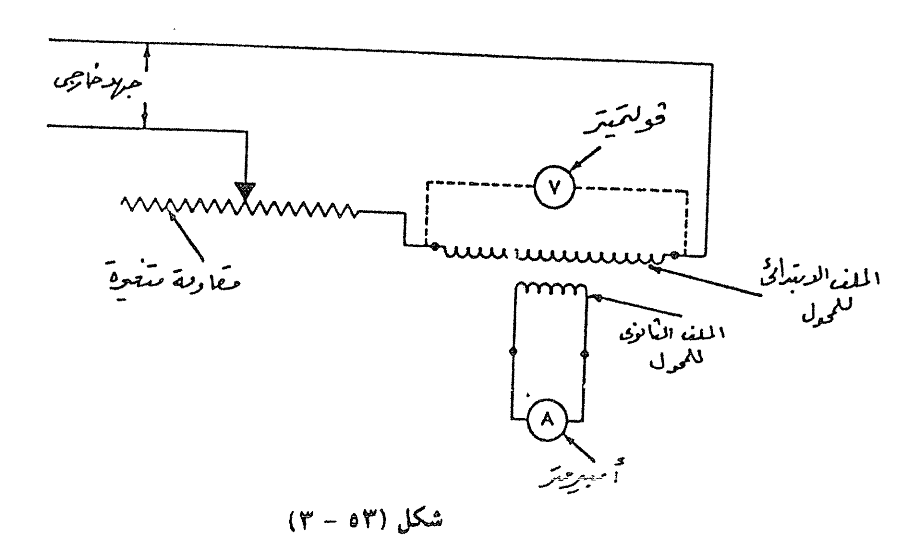


(أ)



(ب)

شكل (٥٢ - ٣)



شكل (٥٣ - ٣)

٦ - بقسمة قراءة الڤولتمتر على الجهد المسلط وقت الاختبار ، وبالضرب فى ١٠٠ نحصل على النسبة المئوية للمعاوقة .

مثلاً اذا كان الجهد المسلط وقت الاختبار يساوى ٢٤٠٠ ڤولت والجهد المقاس بالڤولتميتر على الملف الابتدائى يساوى ٤٨ ڤولت فان

النسبة المئوية للمعاوقة تساوى ٤٨ / ٢٤٠٠ x ١٠٠ = ٢ ٪ .

الباب الرابع

٤-١ الاعطال التى يمكن أن تلحق بالمحولات وأسبابها *Failures and Causes*

تعتبر المحولات أقل المعدات الكهربائية تعرضا للاعطال أو إنهيارات نظرا لكونها معدة استاتيكية فهى لا تحتوى على اجزاء متحركة .

الأجزاء الرئيسية التى يمكن ان تحدث بها أعطال هى :

الدوائر المغناطيسية – ملف الجهد العالى – ملف الجهد المنخفض – دوائر التبريد – العازلات – مغير الجهد ..

بعض الاسباب التى تؤدى الى حدوث اجهادات وأعطال بالمحولات ترجع الى :

- عدم الالتزام بتعليمات التشغيل ، وتشغيل المحول على عطل أو تشغيل غير العادى .
- عدم الالتزام بتعليمات الصانع من حيث القدرة ، الجهد ، التردد المقنن .
- تعرض المحولات لاعطال (قصر) بالشبكة الكهربائية المتصلة بها .
- عيوب فى تصميم وتصنيع المحولات .

من الاعطال الشائعة بالمحولات نتيجة عيوب في التصميم :

- أعطال فى الدوائر المغناطيسية ، القلب ، الفك ، مواقع الربط فى هيكل القلب .
- اعطال فى الملفات : المخدات ، عزل الموصلات .
- اعطال فى العازلات : الزيت ، البكاليت ، الورق .
- أعطال بالهيكل الخارجى للمحول .

فيما يلى توضيح للاعطال والاسباب :

أولا : عدم الالتزام بتعليمات التشغيل والصيانة للصانع :

١ – عدم الالتزام بأى من مقننات المحول وهى : القدرة ، الجهد ، التردد ، التيار تؤدى الى اجهادات على المحول كالآتى :

أ – اذا سحبت قدرة من المحول أكبر من القدرة المسموح بها ، فان هذا يؤدى الى زيادة تيارات الحمل ، وبالتالى ارتفاع درجة حرارة المحول .

ب – ارتفاع الجهد الكهربى على ملفات المحول يؤدى الى حدوث اجهادات كهربائية فى عازل الملفات .

جـ – فى حالة تركيب مكثفات لتحسين معامل القدرة على الملف الثانوى للمحول يجب مراقبة قيمة جهد الملف الثانوى ، حيث ان المكثفات تؤدى الى ارتفاع الجهد على الملفات الثانوية للمحول وبالتالى حدوث اجهادات على عزل الملفات .

د – اذا ارتفعت قيمة التردد لجهد الشبكة الكهربائية ، فان هذا يؤدى الى ارتفاع قيمة الجهد المنتج بالحث *(Induced voltage)* بالملفات ، والناتج من الفيض المتبادل *(Mutual Flux)* ، مما يؤدى الى حدوث اجهادات على عزل الملفات .

٢ – عدم الالتزام بتعليمات تشغيل المحولات يؤدى الى اجهادات على المحول كالآتى :

أ – تكرار توصيل المحولات على اعطال يؤدى الى ارتفاع قيمة الجهد المقنن ، مما يؤدى الى حدوث اجهادات على عزل الملفات .

ب – عند وجود عطل بالمراوح وكانت قدرة المحول فى الحدود المسموح بها (ولكن يحتاج المحول لتشغيل المراوح) فان ذلك يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة المحول .

جـ – اذا اغلقت صمامات المبردات *(Radiator values)* بطريق الخطأ ، فان ذلك يؤدى الى تقصير فى دورة التبريد ، وبالتالى يؤدى الى ارتفاع درجة حرارة المحول .

د – اذا تم الغاء تشغيل مغير الجهد *(Tap Changer)* اتوماتيكيا ، فان هذا يؤدى الى عدم تطابق قيمة الجهد الفعلى للملف الابتدائى مع جهد خطوة مغير الجهد ، مما يؤدى الى حدوث جهد زائد *(Excess Voltage)* على اطراف مغير الجهد ، وبالتالى حدوث اجهادات على نقط التلامس لمغير الجهد .

هـ – تكرار توصيل وفصل المحولات على جهد (معدل عمل المناورات مرتفع) يؤدى الى :

– عند لحظة ادخال المحول بالخدمة لا يمكن معرفة القيمة على موجة الجهد ، ولا قيمة المغناطيسية المتبقاه فى القلب الحديدى ، فمثلا اذا كانت قيمة المغناطيسية المتبقاه حوالى ٦٠ ٪ من اقصى قيمة ، فان قيمة الفيض قد تصل الى ٢,٦ من اقصى قيمة ، ويرتفع التيار الى أضعاف قيمة تيار التنبيه *(Exciting Current)* ، وهذا يؤدى الى ارتفاع قيمة التيار الاندفاعى *(Inrush Current)* .

– عند فصل قاطع التيار تنشأ جهود عابرة مرتفعة *(Transient Over Voltage)* ، نتيجة تفتت الشرارة الكهربائية داخل غرفة اطفاء الشرارة للقاطع يمكن ان يكون لذلك تأثير

على المحول .

٣ - عدم الالتزام بالاختبارات الدورية ، اختبار عزل الزيت الموجود بالخزان الرئيسى وغرفة مغير الجهد ، كما ان عدم الالتزام بالصيانة الدورية ، نظافة العوازل وازالة اية اجسام غريبة على سطح المحول ، أو خلال المشعات يساعد على حدوث اعطال بالمحول .

ثانيا : تعرض المحولات لحالات القصر بالشبكة الكهربائية

١ - يجب ألا تزيد قيمة تيارات القصر *(Short Circuit Current)* عن القيمة المسموح بها .

٢ - يجب ألا يزيد زمن تيار القصر عن الفترة المسموح بها .

٣ - عند تعرض المحول لدائرة قصر بين الوجه والارض تحدث جهود عابرة مرتفعة *(Transient Over Voltage)* قد تصل قيمتها الى ثلاثة اضعاف قيمة الجهد المقنن .

٤ - اذا كانت نقطة التعادل معزولة او موصلة من خلال مقاومة بالارض ، فيمكن ان يحدث ارتفاع فى الجهد على الملفات فى الاوجه ، فى حالة حدوث عطل على احد الملفات الاخرى .

ثالثا : عيوب فى تصنيع المحولات :

أعطال الدوائر المغناطيسية

١ - فى المحولات من النوع ذى القلب *(Core - Type Transformer)* يتم ربط ومسك رقائق القلب ، المكونة من الفك *(Yoke)* والساق *(Limb)* ، عن طريق مسامير معزولة . فاذا حدث انهيار فى عزل هذه المسامير فانه يمثل حالة قصر بين الرقائق ، وهذه بدورها تتسبب فى مرور تيارات اعصارية كثيفة . أما اذا حدث انهيار بعزل المسامير فى مكانين مختلفين فانه يتسبب فى مرور تيارات اعصارية بين هاتين النقطتين ، وهذه الحالة تمثل قصر خلال مسارات التدفق (الفيض) المغناطيسى . ويعتبر حدوث انهيار فى عزل مسامير الربط بين الفك والساق من أخطر الانواع . وكمية الحرارة المتولدة فى حالة انهيار عزل مسامير الربط تتسبب فى :

- تشويه كل القلب .
- تفحم عزل الملفات .

حدوث قصر بين محدات الملفات القريبة

من الشائع حاليا فى المحولات استخدام ماسك معزول لربط شرائح القلب ، وبذلك امكن التخلص من مسامير الرباطات .

٢ - قد يحدث انهيار للمواد العازلة بين الرقائق أو بين عزل الفك والاربطة الماسكة للفك . يتسبب عنه حدوث تيارات اعصارية كبيرة . تدور فى الدائرة المغناطيسية فتحدث كمية كبيرة جدا من الحرارة ، تؤدى الى انهيار القلب وعزل الملفات ، وترتفع قيمة مفاقيد الحديد بالمحول

٣ - عند التحميل العادى تحدث اهتزازات فى القلب ، ولهذا فمن الضرورى عمل احتياطات خاصة أثناء التصنيع لكبح تأثير تفكك مسامير مسك القلب وربط هيكل القلب ، وهذه الاهتزازات تؤدى الى ضعف عزل القلب وتحدث انهيارات كما ذكر فى بند ١ ، ٢

٤ - خلال عمليات تصنيع المحولات ، ونتيجة استخدام ادوات البرى *(Worn Tools)* لتنعيم حافة شرائح القلب وحافتى الفك ينتج رايش يمكن ان يعمل على حدوث قصر موضعى فى رقائق الحديد ، والنتيجة التيارات الاعصارية وبالتالى حدوث سخونة غير عادية

المصانع الحديثة مجهزة بأدوات قطع وتخريم وتتخلص من الرايش أولا بأول .

٥ - يجب التأكد من عدم وجود برادة معدنية أو قطع معدنية صغيرة ، نتيجة عمليات الخراطة ، بين رقائق القلب ، لان وجودها يحدث تيارات اعصارية موضعية مما يتسبب عنها ارتفاع فى درجة حرارة القلب عند هذه المواضع .

٦ - فى حالات معينة ، يحتوى الفك العلوى على نتوءات *(Butt)* واذا كان الفراغ بين القلب والفك غير عادى ، تحدث تيارات اعصارية شديدة عند هذه النتوءات ، وتنتج حرارة عالية يمكن ان تحرق القلب والفك بالقرب من الفراغ . وفى المحولات القديمة تزداد هذه الظاهرة بشدة فى القلب ذو الفك المضمحل *(Shallow Yoke)* حيث تنتج تيارات اعصارية موضعية شديدة ، مسببة فيض مغناطيسى داخل وخارج القلب بزاوية غير عادية عند حروف القلب (أماكن الربط) ، ويحدث برقائق الفك العميقة تدفقا (فيض) اكثر ، افقى الى أعلى أو الى أسفل وتتجه زاوية الدخول والخروج فى اتجاه معاكس للحالة العادية .

٧ - اذا كانت موجة القوة الدافعة الكهربائية (emf) للجهد المؤثر المعطى ، ذات قيمة مستوية (Flad - Topped) ، ترتفع قيمة مفقودات القلب وكذلك ترتفع درجة حرارة القلب . وهذا واضح من العلاقة بين الجهد والفيض

$$E = 4 K_f B_m AF N/10^6$$

حيث

E = قيمة جذر متوسط المربع (rms) للجهد المؤثر على الملف الابتدائى او الثانوى حسب الحالة .

K_f = معامل شكل موجة القوة الدافعة الكهربائية emf .

Bm = اقصى كثافة تدفق فى القلب (ويبر/م٢ أو تسلا) .

A = مساحة مقطع القلب (مم٢) .

F = التردد (هرتز) .

N = عدد لفات الملف الابتدائى أو الثانوى حسب الحالة .

إذا كان شكل موجة القوة الدافعة الكهربية جيبى فان K_f تساوى ١,١١ وهى نسبة جذر متوسط المربع الى القيمة المتوسطة . واذا كان شكل موجة القوة الدافعة الكهربية بحيث تكون ذات ذروة فان K_f تكون اكبر من ١,١١ ، فتكون B_m اصغر عند نفس قيمة E، لذلك تكون قيمة مفقودات الحديد اقل منها فى حالة ما إذا كانت الموجة جيبية .

اذا كانت موجة القوة الدافعة الكهربائية ذات قمة مستوية فان K_f تكون اقل من ١,١١ وعلى ذلك تكون B_m اكبر عند نفس قيمة E ، وكذلك تكون قيمة مفقودات الحديد اكبر منها فى حالة ما اذا كانت الموجة جيبية ، وفى هذه الحالة يكون تيار المغنطة Magnetising Current اكبر ايضا .

٨ - عند توصيل المحولات بدون حمل ينتج تيار اندفاعى كبير (In-rushes) وبالتالى تيار مغنطة كبير ، يؤدى الى اعطاء كثافة تدفق (فيض) عالية فى الدوائر المغناطيسية وعلى الرغم من الاضمحلال السريع لهذا التيار الاندفاعى ، إلا انه يحدث قوى كهرومغناطيسية كبيرة تعمل على اجهاد الملفات ، وتصبح هذه الظاهرة اكثر خطورة اذا كان المحول قريبا

من مصدر التوليد ، مما يعرضه لعمليات توصيل متتالية ، وهذه الظاهرة تسبب تحرك الملفات

٩ – كثافة التدفق (الفيض) الكبيرة فى الدوائر المغناطيسية تسبب توافقيات عالية للتيار أو الجهد ، وغالبا ما يؤخذ تأثير التوافقية الثالثة فقط ، فى هذه الحالة ، ان الجهد بين الخط ونقطة التعادل ، عندما تكون نقطة التعادل معزولة يحتوى على المركبة التوافقية الثالثة ، التى يمكن ان تصل قيمتها الى ٦٠ ٪ من القيمة الاساسية ، ونتيجة لذلك يزيد اجهاد العزل *(Dielectric Stress)* على عزل الملفات مما يسبب تقليل عمر المحول .

إذا كانت نقطة التعادل للملف الثانوى لمحول رفع نجمة / نجمة مؤرضة ، وكان الملف الثانوى متصلا بكابل جهد عالى يحدث تكبير لمركبة التوافقية الثالثة للتدفق المغناطيسى ، مما يؤدى الى ارتفاع قيمة التوافقية الثالثة للجهد وارتفاع درجة حرارة المحول ارتفاعا شديدا ، مسببا تشوهات . للملفات وعزل القلب ، واذا استمرت هذه الظاهرة فانها تتسبب فى ايجاد مواد عالقة بالزيت وكذلك زيادة مفقودات الحديد الى ثلاثة اضعاف القيمة العادية للمحول .

١٠ – احيانا ، ولظروف الاحمال العالية ، يلزم أن يكون جهد المحول مرتفعا ، وعلى ذلك يجب أن يكون التردد أيضا مرتفعا ، وذلك للتغلب على حدوث تشبع مغناطيسى عالى للقلب ، أذ أن الزيادة فى الجهد لا يجب أن يصاحبها انخفاض فى التردد ، وإلا أدى ذلك الى تشبع مغناطيسى فى القلب ، مما يؤدى الى زيادة مفقودات الحديد وسخونة غير عادية للقلب ، حيث تكون العلاقة بين الجهد والتردد وكثافة التدفق كالآتى :

$$B_m = \frac{E \; 10^6}{4 K_f A F N}$$

١١ – احيانا يكون نتيجة قدم المحول ، ان يحتاج القلب الى تغيير ، بسبب تشوه شرائح القلب ، الذى يصاحبه ارتفاع فى مفقودات الحديد وارتفاع درجة حرارة المحول . وقد يحدث انهيار جزئى أو كلى لعزل الملفات ، مما يؤدى الى تكوين مواد عالقة بزيت المحول .

١٢ – فى المحولات الهيكلية ذات شرائح مقطع مستطيل ، تحزم وتربط ، من أعلى وأسفل ، لتأخذ الشكل النهائى للقلب ، بوساطة مسامير افقية – وتكون هذه المسامير عادة بالقرب من حافة القلب . يمر التدفق الشارد *(Stray Flux)* ، من الدائرة المغناطيسية الى المسامير ، مسببا تيارات اعصارية ، تحرق المسامير واركان ألواح القلب .

أعطال الملفات *Failures In The Windings*

١ - وجود الحواف *(Edges)* الحادة فى الموصلات النحاسية بملفات الجهد العالى ، يؤدى الى حدوث دائرة قصر بين اللفات المتجاورة بأحد مخدات الملف .

فإذا تعرض المحول لإهتزازات وقت التحميل ، أو تعرض لصدمات كهرومغناطيسية متكررة ، نتيجة التوصيل على قصر خارجى ، فإن هذه الحواف الحادة تعمل على قطع العازل ، وتسمح لمعدن اللفات المتجاورة أن تتلامس ، مسببة لدائرة قصر .

٢ - أثناء التشغيل العادى لمحول فى حالة الحمل ، وتعرضه لصدمات كهرومغناطيسية شديدة متكررة ، يمكن أن تؤدى الى فك مسامير القلب أو تتسبب فى إزاحة أحد أو أكثر من لفات المخدات ، كل هذه العوامل تسبب احتكاك بين العازل وبين اللفات المتجاورة المزاحة ، فيحدث بها إنهيار يؤدى الى عمل دائرة قصر بين اللفات ، وبالتالى قصر بالملف .

٣ - أحياناً ، لا يمكن لف العازل المغطى للموصلات ، ذات المقطع المستطيل ، فوق النحاس بالدقة اللازمة ، وتسبب هذه الحالة نتوء على سطح الموصلات ، ولا يكون شكل الموصلات واضحاً ويبدو كما لو كان دائرياً . أثناء عمليات لف الملف تحدث إنحناءات تسبب قصر بين اللفات . فى بعض الآماكن على الملفات ، تمثل الموصلات المتجاورة حافة الى حافة أو حافة الى سطح ويمكن أن يحدث إحتكاك بين عازلات اللفات وينهار العزل ، وتصبح هذه المشكلة خطيرة ، اذا كانت الحواف حادة وليست دائرية .

٤ - فى المحولات المستخدمة للمنظومات الكهربية الكبيرة ، يولى المصّنع الاعتناء بربط وتثبيت مخدات الملفات منعاً لحدوث اية مشكلات ، اذا انكمش أو تقلص عزل الملفات . فإذا لم يتم الربط والتثبت عند ضغط معين أثناء التصنيع ، فإن بعض الموصلات تكون عرضة للإزاحة تحت ظروف التشغيل والنتيجة إنهيار العزل ، وحدوث دائرة قصر بين اللفات .

٥ - اذا تشبع العزل بالرطوبة يصبح إحتمال حدوث دائرة قصر بين اللفات ممكناً نتيجة تاكل العزل .

٦ - إجراء عملية التجفيف *(Drying Out)* للمحول بالموقع ، بوساطة مسئول غير ملم جيداً بعملية التجفيف ، والإحتياطيات اللازمة اثناء العملية ، يؤدى الى اتمام العملية بصورة

غير ملائمة . فعند تسليط قيمة الجهد العادى أو قيمة جهد الاختبار ، بينما لاتزال مقاومة العزل للملفات صغيرة ، فإن العزل بين اللفات المتجاورة ينهار نتيجة بخار الرطوبة الموجود .

٧ - عند لف مخدات من النوع الحلزونى (*Spiral*) ، يتم إستخدام موصلات على شكل شريط رفيع ، تلف على سطح إسطوانة عازلة . والمخدات فى هذه الحالة تكون ضعيفة للإجهادات الميكانيكية ، وتكون سريعة الإنهيار عند حدوث قصر خارجى على النظام .

٨ - اذا كانت ظروف تشغيل المحول بأن يكون معرضاً لحمل متذبذب ، سريع التغير بين قيمتين عظمى وصغرى (*Fluctuating Load*) فيؤدى ذلك الى حدوث تمدد وإنكماش للموصلات وبالتالى يتعرض العازل لضغط ميكانيكى متغير ، وتصبح الملفات أكثر قابلية للإنهيار ، نتيجة الصدمات الكهرومغناطيسية .

٩ - اذا كان تصميم المخدات من النوع المتقاطع (*Crossover Type*) لملف الجهد العالى ، وله عمق قطرى كبير جداً بالنسبة لإرتفاعه ، فسوف تتواجد البقعة الساخنة (*Hot Spots*) فى المخدات الداخلية . هذه الظاهرة تجعل عزل الموصلات هشاً ، وبالتالى يحدث قصر بين اللفات . كما أنها تكون خطيرة اذا كان تصميم نظام دوران الزيت غير ملائم ، كأن تكون أنابيب الزيت ضيقة جداً .

١٠ - تستخدم عدة أسلاك توازى لتكوين ملفات الجهد المنخفض ، مما يؤدى الى تعرض الموصلات فى هذه الحالة لمرور التيارات الاعصارية (*Eddy Currents*) .

تكون الأسلاك المستخدمة ذات مقطع مستطيل ، ويتم اللف بحيث يسمح الجانب القصير للأسلاك بمرور التدفق المتسرب (*Leakage Flux*) بين الملف الابتدائى والملف الثانوى . أما فى المحولات ذات القلب ، فتستخدم الملفات متحدة المركز ، بحيث يمر التدفق المتسرب من الجانب القصير ، ويكون الجانب الطويل متوازياً معه . فإذا عكس هذا الوضع ، تمر تيارات إعصارية عالية فى الموصلات ، ويمكن تواجد البقعة الساخنة فى الملفات . لذلك يجب أن نعكس الطبقات المختلفة لتقسيم الموصلات خلال عمليات لف الملفات ، والتى تم توضيحها عند ذكر لف الملفات ، ويتم هذا لتقسيم الحمل بالتساوى . وعندما لا يتم اللف بهذه الطريقة ، فلا يمكن تقسيم الحمل بالتساوى فى الطبقات المختلفة وتكون النتيجة حدوث إرتفاع غير عادى فى درجة الحرارة ، وبالتالى حدوث البقعة الساخنة .

١١ – يمكن حدوث تجاوز لحد التسخين وقت التحميل بسبب اللحامات غير الجيدة عند أماكن توصيل الملفات ، وبالتالى حدوث تفحم فى الزيت . وتنتقل الحرارة خلال الموصل للمخدات المجاورة ، وتتسبب فى تفحم العازل وإنهياره ، كما تؤدى الى حالة قصر بين اللفات . أو يمكن أن يحدث فتح فى دائرة هذا الملف .

١٢ – يمكن أن تحدث ازاحة شديدة فى المخدات اثناء حدوث قصر خارجى ، عندما يكون المحول فى حالة عدم إتزان كهرومغناطيسى داخلى .

فى المحولات ذات الملفات الثانوية والإبتدائية الملفوفة مركزياً ، عندما تكون المحاور الافقية للملفين غير متطابقة ، فإن القوي الرأسية بالإضافة الى القوى المحورية العادية تؤثر على مخدات الملفات ، وتتسبب القوى الرأسية فى تشوه نهايات المخدات ، وعلى الاخص فى المحولات القديمة ذات المعاوقة الصغيرة .

فى محولات القدرة التى تحتوى على عدد مناسب من نقط التقسيم (خطوات مغير الجهد) فإنه من الصعب الحفاظ على تماثل وإتزان كهرومغناطيسى عند كل النسب المختلفة ، وأحياناً لا يمكن التغلب على عدم الإتزان .

فى المحولات الهيكلية ذات المقطع المستطيل ، تكون محاور مخدات الملف الإبتدائى والثانوى ، من النوع المتداخل ، غير متماثلة وتسبب حدوث قوى معوجة تؤثر سريعاً على جانب المخدات ، معتمدة على الوضع النسبى لمحاور جانب المخدات ، وعلى قيمة تيار القصر المار .

١٣ – نتيجة لوجود تيارات التلاشى *(Transient)* يمكن أن يحدث : دائرة قصر بين اللفات ، إنهيار عزل الملفات مع الارض ، أو حدوث ثقب فى العازلات .

أ – عند حدوث صواعق عابرة *(Lighning Surges)* ، أو عند اجراء عمليات التوصيل للمحولات ، يتركز الجهد على اطراف المخدات ، وينتج ارتفاع الجهد عند تغيير المعاوقة لموجات التيار والجهد العارمة *(Surge Impedance)* عند نقط التغيير بين المحول والخط ، بالإضافة الى إنعكاس وارسال موجات عابرة من الجهد والتيار *(Traveling Wave)* . هذا الجهد يؤثر على اطراف نهايات المخدات مسبباً انهيارها

ب - اكثر الاماكن المعرضة للتأثير بإرتفاع الجهد الناتج من الموجات العارمة *(Surg)* هى : نقط التقسيم المفتوحة ، نهايات الموصلات الفراغات بين المخدرات المتصلة على التوالى ، نقطة التعادل ، وعلى ذلك يجب الإعتناء بتقوية عزل هذه الاماكن بقدر الإمكان حتى يتم التغلب على حدوث أى قصر بين الملفات .

جـ - عند فصل دائرة تحتوى على ملفات حثية ، مثل ملف ابتدائى لمحول ، يكون ملفه الثانوى مفتوحاً ، فان تيار المغنطة ، وبالتالى التدفق المغناطيسى ، ينهار لحظياً ، مما يجعل معدل إنخفاضه سريعاً ، مؤدياً الى إرتفاع فى الجهد .

١٤ - تحميل المحول بأحمال زائدة مستمرة ، ينتج عنه زيادة غير عادية فى درجات الحرارة ، مما يؤدى الى ان يصبح العزل هشاً ، ومع إستمرار الوقت ينهار العزل ، ويسبب حدوث قصر بين اللفات . يصاحب انهيار العزل تكون مواد عالقة بالزيت ، وقد تترسب على الملفات والقلب ، وتساعد هذه المواد العالقة المتكونة على الملفات والقلب على الارتفاع المستمر فى درجة الحرارة . كما تتعرض مسارات التبريد بالزيت الضيقة للسخونة ايضاً . ويلاحظ أن المحولات ذات النسبة العالية لمفاقيد النحاس الى مفاقيد الحديد تكون اقل قدرة على مقاومة زيادة الحمل ، مما يجعلها أكثر تعرضاً للإنهيار .

١٥ - المحولات المجهزة بنقط تقسيم (خطوات مغير الجهد) ، تكون اطرافها مغمورة فى الزيت ، لذلك يجب الإهتمام بأن يكون جميع نقط التقسيم جيدة التوصيل ، حتى لا تسبب حالة قصر ، فى جزء من اللفات ، أثناء عمليات تغيير الخطوة .

١٦ - يجب أن تكون عمليات الربط ، وتثبيت التوصيلات الحاملة للتيار محملة ، حتى لا يحث فيها حل أثناء عمليات التشغيل ، وأثناء ظروف التشغيل العادية . إذا كانت الرباطات غير جيدة ، فإنها تكون معرضة للسخونة ، مسببة حالة قصر إضطرارية .

أعطال المادة العازلة *Failures In The Insulation*

١ - اذا احتوى الزيت على رطوبة - عن طريق نظام التنفس بالمحول - تعمل الرطوبة على تقليل تحمل العزل للإجهاد ، مما يؤدى بدوره الى حدوث انهيار فى الملفات او الاطراف ، الى الخزان أو الى هيكل القلب .

٢ - نتيجة إرتفاع احمال المحول ، ترتفع درجة الحرارة ، مما يؤدى الى تحليل المواد

العازلة ، وبالتالى تكوين مواد عالقة مثل الماء والمواد الحمضية .

٣ - من خصائص المواد العازلة ان المجاوزية النوعية *(Specific Permittivity)* لكل مادة يتناسب مع سمك هذه المادة ، فإن لم تتحقق هذا الخاصية فإنها تسبب اجهادات عالية فى العازل مثلاً العزل بين ملفات الجهد العالى والجهد المنخفض تتكون عادة من : ورق - مادة عازلة صلبة - زيت . بإستثناء محولات الجهد العالى ، يهمل تاثير الورق فقط ، وعلى ذلك يؤخذ فى الاعتبار فقط المادة العازلة الصلبة ، لها مجاوزية نوعية ٥ ، والزيت الذى له مجاوزية نوعية ٢ ، الجهد الكلى خلال المادتين يوزع على التوالى بينهما ، وعلى ذلك فإن الجهود خلال المواد ذات السمك المتساوى ، لكل من العازلين ، تتناسب عكسياً مع المجاوزية ، وإذا لم يكن السمك متناسباً مع المجاوزية ، فإن الجهد المسلط لا يكون مناسباً ، ويؤدى الى إنهيار العازل الاول ثم الثانى ، نتيجة التفريغ الهالى *(Corona Discharge)* ، والارتفاع الزائد فى درجات الحرارة .

٤ - يمكن حدوث ظاهرة التفريغ الهالى *(Corona)* فى اركان الموصلات المائلة او الموصلات ذات المقاطع الصغيرة ، اذا كان الاجهاد (الجهد / السمك العازل) مرتفعاً *(Surface Voltage Gradient)* .

٥ - يتم تصنيع الاجزاء العازلة مثل الاسطوانات - الانابيب - النهايات ، من الورق المضغوط ومواد راتنجية صناعية ، وهذا قد يعرض السطح للتلوث اثناء عمليات التصنيع ، أو يكون من النوع الذى يمتص الرطوبة ، فى هذه الحالة يكون سطح المادة العازلة معرضاً لعملية التفريغ ، وتنوب المادة الملوثة للعازل محدثاً ثقباً به ، كما يتأين الهواء الممتص مسبباً ارتفاع درجة حرارة العازل .

٦ - وضع دروع تسليح ارضية *(Earth Sheilds)* ، بين الملف الابتدائى والثانوى ، يساعد على تركيز اجهادات العزل فى الحواف *Edges* ، كما تحدث اجهادات موضعية فى العزل ، وقد تؤدى الى تشويه ملفات الجهد العالى .

٧ - اذا كانت قنوات *(Ducts)* الزيت ضيقة ، فإن التبريد لا يكون مناسباً ، ويصبح عزل اللفات هشاً ، وينتج عن ذلك قصر بين اللفات ، مما يساعد على تقليل عمر تشغيل المحول .

٨ - تحدث اعاقة لدورة دوران الزيت داخل المحول فى حالة انخفاض مستوى الزيت عن

المستوى المحدد بمعرفة الصانع ، مما يتسبب فى إرتفاع درجة الحرارة .

٩ – يضاف أحياناً عازل بين الاوجه بدون عمل دراسة كافية ، لتوزيع اجهادات العزل ، أو تكون المسافات المتروكة (الفراغات) بين الاوجه غير مطابقة للمواصفات ، مما يؤدى الي حدوث قصر بين الاوجه .

١٠ – وأحياناً اخرى يستخدم ماسك خشب ، لتثبيت اطراف نهايات المخدات ، هذا الماسك يجب أن يكون جافاً تماماً ، فإذا كان متشبعاً بالرطوبة ، فإن هذا يؤدى الى حالة قصر بين اطراف النهايات بالمخدات .

١١ – فى بعض الاحيان ، فإن العلاقة بين الكهرباء الاستاتيكية السعوية بين الملف الابتدائى والملف الثانوى وبين الملفات الفردية والقلب تؤدى الى إرتفاع الجهود فى دائرة الجهد المنخفض . ولحل هذه المشكلة يتم عمل أرضى واحد مع تقسيمه الى أجزاء مع أرضى المحول .

١٢ – يمكن أن تحدث شرارة *(Flashovr)* بين نهايات الاطراف ، المغمورة فى الزيت ، وبين الخزان أو القلب ، من خلال الجزيئيات المعلقة بالزيت ، والتى لها قابلية للتوصيل الكهربى .

أعطال الهيكل :

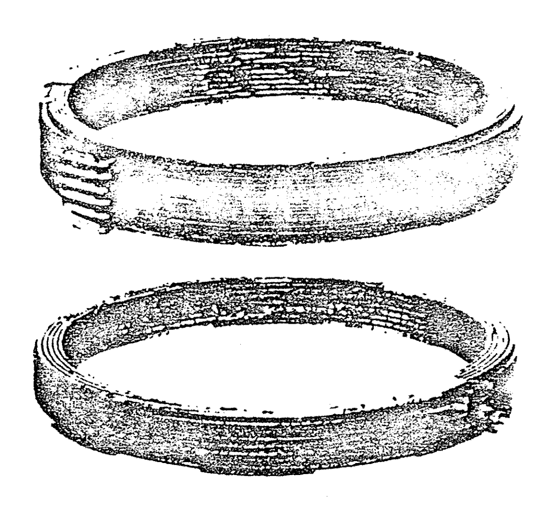
١ – نتيجة سوء عمليات نقل المحولات ، أو سوء عمل اللحامات اثناء تصنيع المحولات ، يحدث ترسيب فى الزيت يؤدى الى إرتفاع درجة الحرارة ، وحدوث انهيار بالمحول .

٢ – ترسيب الاتربة ، غبار ، غبار فحمى ، أملاح ، علي سطح العازلات على جسم المحول ، تسبب حدوث وميض *(Flash Over)* .

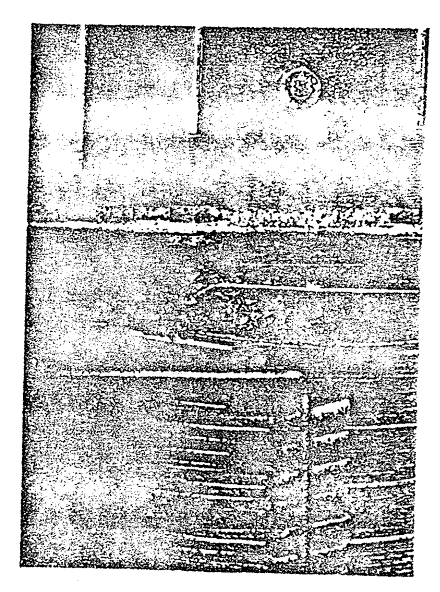
٣ – يمكن حدوث قصر عند اطراف نهايات الملفات خارج جسم المحول اذا كانت غير معزولة عن الجسم عزلاً جيداً .

٤ – يجب أن تترك مسافات (فراغات) كافية حول جسم المحول ، لتسمح بالتهوية الجيدة فإذا كان المحول قريباً جدا من حائط أو أى معدة أخرى مجاورة ، فإن درجة حرارة المحول يمكن أن ترتفع ، وتسبب مخاطر لعزل الملفات والزيت .

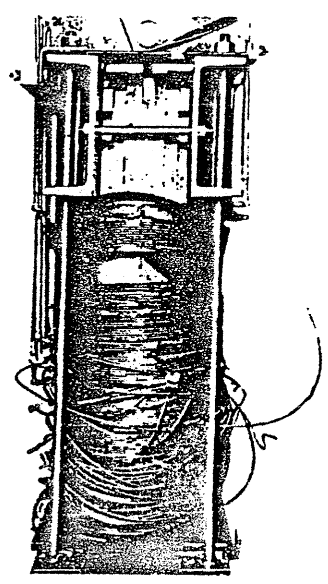
الأشكال من (١ – ٤) الى (٨ – ٤) توضح بعض أنواع الإنهيارات .



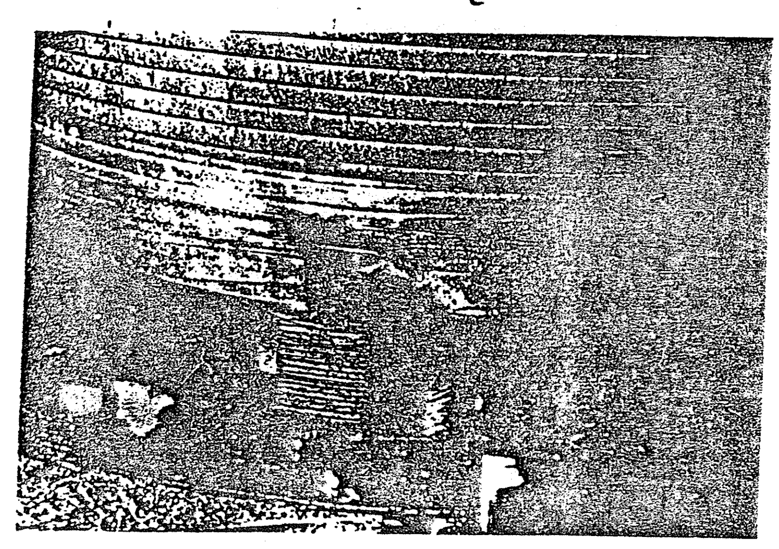
شكل (١-٤) انهيارات عزل لفات داخلية لملف جهد عالى



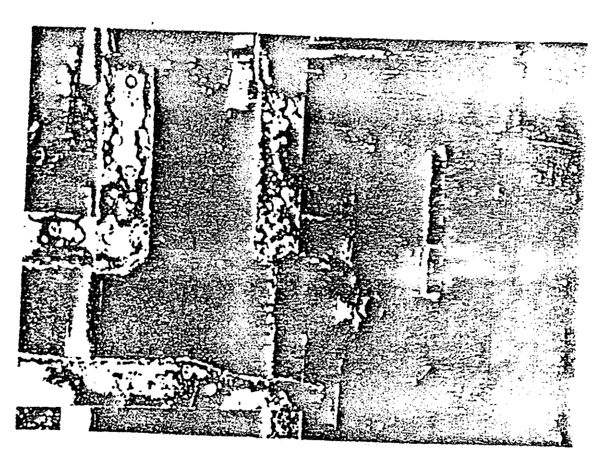
شكل (٢-٤) انهيار حلقة مسك الملفات نتيجة دائرة قصر
خلال مسامير ربط الساق بالفك



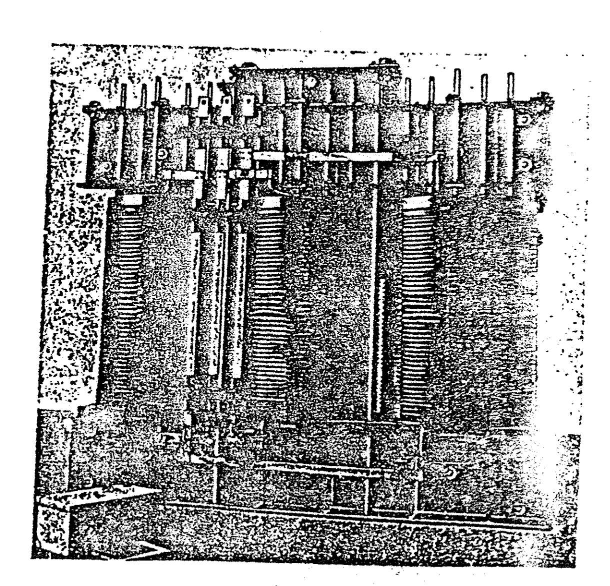
شكل (٣ - ٤) تأثير قصر خارجى على محول ٤٠٠ك.ف.أ - ١١٠٠٠/٢٢٠٠ ڤولت - ملف الجهد العالى متقاطع ، وملف الجهد المنخفض حلزونى



شكل (٤ - ٤) إنهيار لملف الجهد المنخفض نتيجة ثقب فى عزل الجهد العالى الى عزل الجهد المنخفض يرجع لدخول الرطوبة الى داخل المحول



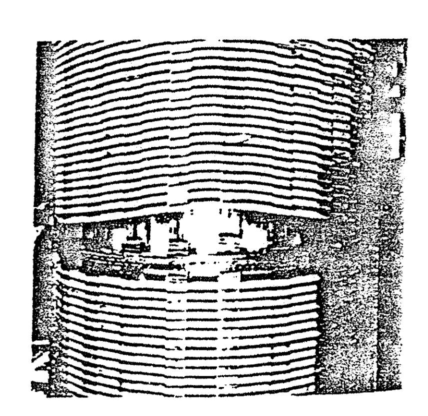
شكل (٥ - ٤) انهيار نتيجة الضغوط العارمة فى جانب الجهد العالى لمحول ٥م.ف.أ. ٦,٦/٣٣ ك.ف. - نجمة/دلتا



شكل (٦-٤) إنهيار نتيجة الضغوط العارمة فى جانب الجهد العالى للحالة المذكورة فى شكل (٥-٤)



شكل (٧-٤) إنهيار بالملف نتيجة دائرة قصر



شكل (٨-٤) إنهيار الملف الابتدائى نتيجة دائرة قصر

العطل	خطوات تحرى العطل	السبب	العلاج
I صوت غير عادى	استمع الى اكثر من مكان فى جسم المحول حتى يمكن تحديد المكان المطلوب . وذلك باستخدام قطعة صلبة من الخشب أو مادة عازلة أو مسماع يوضع على المحول عند اماكن مختلفة. وهذا يساعد على تحديد مكان العطل فى داخل جسم المحول أو خارجه . فالاجزاء المعدنية على جسم المحول ، مثل المتمم ، يجب أيضاً التاكد من أنها ليست مصدر الصوت غير العادى	أ - صوت خارجى ، مسمار أو صامولة مثبت على جسم المحول ، أو لوحة بيان المحول او أى جزء معدنى مفكوك . ب - صوت صادر من داخل المحول : ١ - فى حالة المحولات القديمة يمكن ان يحدث ارتخاء خفيف بالملفات ٢ - صوت نتيجة تفريغ سعرى	أ - يتم مراجعة جميع التربيطات على جسم المحول : مسمار صامولة ب - ١ - فى حالة المحولات الصغيرة إذا كان هناك امكانية فتح المحول فإنه يمكن اعادة مسك الملفات ومراجعة التربيطات الداخلية . فى المحولات الكبيرة يفضل عرض المشكلة على الصانع . ٢ - يجب اخذ رأى الصانع
II درجة حرارة غير عادية	يلاحظ ارتفاع درجة حرارة المحول خلال ١٠ - ٢٤ ساعة تشغيل . ويتم تسجيل البيانات الآتية كل نصف ساعة : تيار الدخل - درجة حرارة الزيت - درجة حرارة حجرة المحول .	أ - المحول محمل أكثر من المفروض ب - التهوية غير جيدة بحجرة المحول	أ - تقليل حمل المحول حسب قيمة التيار المقنن للمحول . ب - تحسين التهوية المستخدمة بحجرة المحول .

	يتم تسجيل درجة حرارة الزيت بواسطة ترمومتر زئبقى مدرج حتى ١١٠ْم يتم وضعه فى جيب الترمومتر الخاص بالمحول هذا الجيب يكون جزء منه مملوءاً بالزيت. تقاس درجة حرارة الحجرة فى وضعين ، على ارتفاع حوالى متر من الارض وعلى ارتفاع ٠,٥ متر ايضاً	جـ - حدوث قصر بين عدد من مخدات الملفات ، تزيد مقاومة التوصيل لمغير الجهد ، أو دائرة قصر فى القلب الحديدى	جـ - إذا لم يحدث فصل لقاطع التيار (نتيجـة اشتغـال جهاز الوقاية الغازية) أو لم تفصل مصهرات الجهد العالى فيجب فصل المحول بسرعة . ثم تؤخذ القياسات الآتية : ١ - مقياس مقاومة (أوم) بين كل وجهين لمعرفة أى تغيير فى قيمة مقاومة الاوجه ٢ - مقياس مقاومة العزل بين الاوجه والارض بواسطة ميجر.
	٢ - اذا كان المحول يسخن بعد فترة زمنية صغيرة نسبياًفان منسوب زيت المحول يكون قد انخفض فى الخزان الاحتياطى او توجد غازات متجمعة او فى حالة اشتغال جهاز الوقاية الغازية نتيجة تجميع غازات غيرقابلة للاشتعال ، مصحوباً باشتغال الانذار	يوجد بالمحول عطل كبير	٣ - اذا لم تلاحظ أية نتائج غير عادية فى ١، ٢ فانه يلزم قياس تيار اللاحمل (من ٣ الى ١٠ ٪ من قيمة التيار المقنن) يتبع نفس القياسات التى تمت فى (٢-١-جـ)
	٣ - سخونة غير عادية لاحد الاطراف (يتم التأكد بعد فصل المحو ل)	أطراف غير جيدة الربط داخل أو خارج المحول	تتم مراجعة للاطراف الخارجية اما اذا كان العطل بالاطراف الداخلية فيفضل الاتصال بالصانع

المفتوح (c) هو نفس الجهد للمحول فى حالة اللاحمل . يمكن ان تؤرض نقطة التعادل للملف الثانوى فى هذه الحالة . وهذا هو التفسير لجميع انواع المحولات .

ب – محول موصل نجمة / نجمة – التحميل من خلال وجه واحد والارض

يوضح شكل (٩ – ٤) ب توصيل الحمل بين الوجه (a) ونقطة التعادل بالملف الثانوى ، وبفرض مرور تيار قيمته ١٠٠ أمبير . يمر تيار بالاوجه الثلاثة بالملف الابتدائى ، ويكمل دائرته من خلال المولد (G) . التيار المار بالملفين C B يعتبر كتأثير تيار المغنطة للوجهين c, b ، وبالتالى فان هذين الوجهين يرتفع بينما ينخفض على الوجه المحمل (a) ، ونقطة التعادل . يمثل ذلك حالة ليست مستقرة . هذاالوضع يعتبر وضع تشغيل سئ لمحول ثلاثى الاوجه من النوع الهيكلى ، أو لمحول مكون من ثلاثة محولات احادية – بينمالا يؤثر هذا الوضع على محول ثلاثى من النوع ذى القلب .

جـ – محول موصل نجمة / نجمة – التحميل من خلال وجه والارض ، مع توصيل نقطتى التعادل بين المولد والمحول ، شكل (٩ – ٤) جـ .

فى هذه الحالة فان التيار المار بالوجه A يكمل مساره من خلال نقطة التعادل الى المولد . ويكون الوجهين B , C كما لو كانا دائرة قصر ، وبالتالى لا يحدث تأثير منفعل *(Choking Effect)* ، ويكون انخفاض الجهد فى ملفات المحول على حسب قيمة المعاوقة العادية للمحول . هذا التفسير لجميع انواع المحولات .

د – محول موصل دلتا / دلتا – التحميل من خلال خطين

يوضح شكل (٩ – ٤) د توصيل الحمل على الوجه (a) ويمر فى الحمل ١٠٠ أمبير بينما يكون توزيع التيار داخل الدلتا بقيمة ثلثى الحمل فى الوجه (a) ، يمر فى الوجهين الآخرين، على التوالى ، قيمة ثلث الحمل-ويمر التيار بالملف الابتدائى بنفس النسب بينما تمر قيمة التيار الكلى بوجهين فقط بالمولد (G) . وهذا الوضع لا يحدث تأثيرا منفعلا *(Choking Effect)* ، ويتوقف انخفاض الجهد فى ملفات المحول على قيمة المعاوقة العادية للمحول . وهذا التفسير لجميع انواع المحولات .

هـ - محول موصل نجمة / دلتا - التحميل من خلال خطين .

يوضح شكل (٩ - ٤) هـ توصيل الحمل على الوجه (a) ، ويكون الوضع كما فى الحالة (د) . التيار بالملف الابتدائى ينقسم بنفس النسبة للتيار المار بالملف الثانوى (أى قيمة التيار مضروبة فى $\sqrt{3}$) ، ومضروبا أو مقسوما على نسبة تحويل المحول ، معتمداً على نوع المحول ، رفع أو خفض . تكون نقطة تعادل الملف الابتدائى مستقرة . وهذا التفسير لجميع انواع المحولات .

و - محول موصل دلتا / نجمة - التحميل من خلال خطين

يوضح شكل (٩ - ٤) و توصيل الحمل على الوجهين a , b ويمرر تيار قيمته ١٠٠ أمبير - بينما يمر تيار بالوجهين A , B بقيمة ٥٨ ٪ وتكمل دائرة التيار من خلال الاوجه الثلاثة للمولد (G) . هذا لا يحدث تأثيرا منفعلاً (Choking Effect) ، ويكون انخفاض الجهد فى ملفات المحول على حسب قيمة المعاوقة العادية . وتكون نقطة التعادل فى الملف الثانوى مستقرة وبالتالى يمكن أن تؤرض . يكون الجهد على الوجه المفتوح ، عمليا ، مثل حالة اللاحمل . وهذا التفسير لجميع انواع المحولات .

س - محول موصل دلتا / نجمة - التحميل بين وجه والارض

يوضح شكل (٤ - ٩) س توصيل الحمل بين الوجه a ونقطة التعادل . يمرر تيار قيمته ١٠٠ أمبير بالوجه a - بينما يمر تيار بالملف الابتدائى قيمته ٥٨ أمبير ويكمل مساره من خلال وجهين بالمولد (G)- هذا لا يحدث تأثير منفعل (Choking Effect) ، ويكون انخفاض الجهد فى ملفات المحول على حسب قيمة المعاوقة العادية للمحول . يكون الجهد على الاوجه المفتوحة ، عمليا ، مثل حالة اللاحمل . هذا التفسير لجميع انواع المحولات .

ص - محول موصل نجمة / معرج - التحميل من خلال خطين

يوضح شكل (٩ - ٤) ص توصيل الحمل بين الوجهين a , b بينما يمر تيار بجميع الملفات بالملف الابتدائى ويكمل مساره من خلال المولد (G) هذا لا يحدث (Choking effect). فى حالة المحولات ثلاثية الاوجه من النوع الهيكلى ، أو المحول المكون من ثلاثة محولات أحادية ، فان نقطة التعادل للملف الثانوى لا تكون مستقرة ، ويجب ألا تؤرض ، إلا اذا كانت كثافة الفيض منخفضة بالكم الذى يسمح بذلك . لمحول ثلاثى الاوجه من النوع ذى القلب فان نقطة التعادل تكون مستقرة ويمكن أن تؤرض .

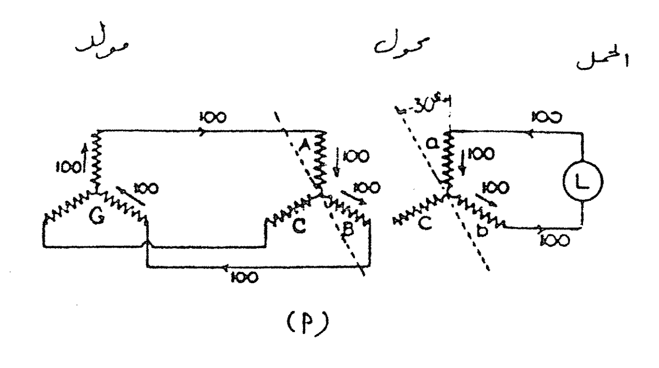
ملحوظة

فى جميع الحالات يجب ملاحظة الآتى :

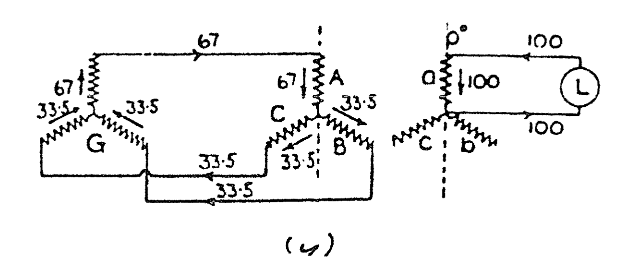
أ - التيار المار بسلك التعادل (بين نقطة التعادل لتوصيلة النجمة والارض)يساوى المجموع الاتجاهى (قيمة واتجاه) للتيارات المارة بالثلاثة أوجه

$$\bar{I}_N = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c$$

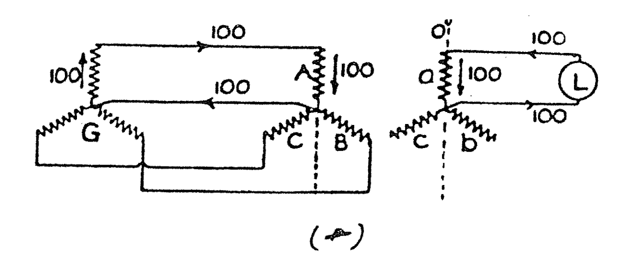
ب - يجب الا يتعدى التيار $\bar{I}_N$ القيمة الاسمية لسلك التعادل المستخدم وذلك منعاً لتضاعف قيمة فقد النحاس (I^2R).



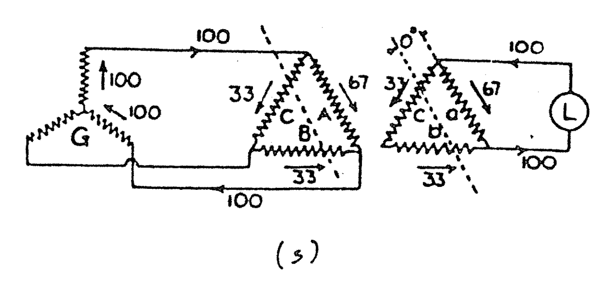
(أ)



(ب)

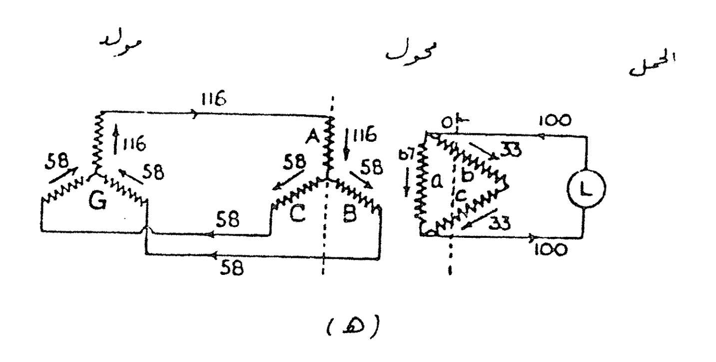


(جـ)

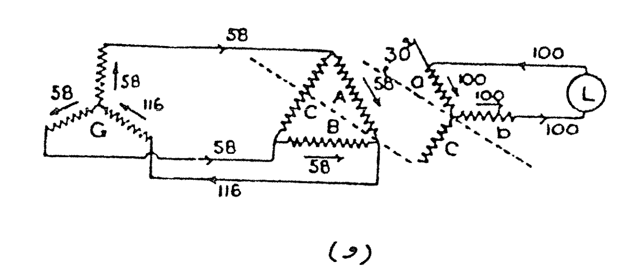


(د)

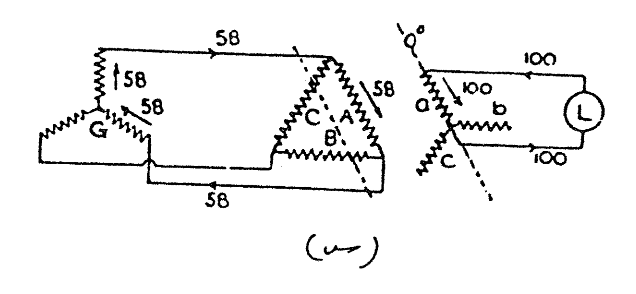
شكل (٩ -٤) أ ، ب ، جـ ، د



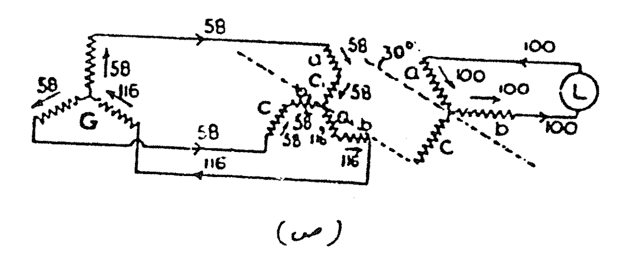
(هـ)



(و)



(س)



(ص)

شكل (٩ -٤) هـ ، و ، س ، ص

٣ ٤ الضوضاء في المحولات Sound Levels (Noise) of Transformers

يصدر عن جميع المحولات صوت أثناء التشغيل ، ويرجع هذا الصوت الى الاهتزازات المتولدة من هيكل القلب ـ المكون عادة من شرائح صلب ـ والتى تعتمد على ظاهرة التخصر بالمغناطيسية *(Magnetostricition)* نتيجة كثافة الفيض ولتوضيح هذا نقول إن أى تغيير فى كثافة الفيض بنسبة ١٠٪ يحدث تغيير بقيمة ٢ الى ٣ ديسبل فى مستوى الضوضاء لـ ١٢ الى ١٦ كجرام ، وتردد ١٠٠ الى ٥٠٠ هرتز يسمع الصوت الصادر من المحول كطنين وهذا الطنين له تردد ، أساس قيمته ضعف التردد المستخدم . تقاس الضوضاء بوحدة تعرف بالديسبل *(Decible)* ويرمز لها بالرمز (db) . وتعتبر وحدة الديسبل مناسبة لتطبيقات الترددات الصوتية لأن إستجابة أذن الإنسان للصوت لوغاريتمية ، أى أن احساس الإنسان بالصوت يتناسب مع لوغاريتم شدة الصوت . ولتوضيح هذا فإنه إذا كان I_1 ، I_2 شدتى صوت ، لصوت قياسى فإن النسبة I_1/I_2 لا يكون لها تمييز ، وأيضاً لوغاريتم النسبة I_1/I_2 ليس له تمييز ولكن للتفرقة بينهما إتفق ان وحدة $Log_{10} I_1/I_2$ يرمز لها بالرمز "بل" او *"Bel"* تخليداً لذكرى العالم الكسندر جراهام بل الذى إخترع التليفون .

ويعرف الديسبل (أحياناً يسمى فون *Phon*) كالآتى :

Decible = 10 bel

جدول (١ - ٤)

من مستويات الضوضاء الشائعة :

النـــــــــوع	مستوى الضوضاء ديسبل (فون)
محرك الطائرة	أكبر من ١٢٠
الغلايات	حوالى ١١٠
مثقاب بالهواء المضغوط	حوالى ٩٠
الصوت العالى (صراخ)	حوالى ٨٠
ضوضاء الشارع	حوالى ٧٠
المحادثة العادية	٥٠ - ٧٠
ضوضاء باحياء الضواحى	٣٠ - ٤٠
ساعة الجيب	٢٠
مدخل السمع	صفر

بينما مستوى الضوضاء المحيطة بالمبانى كالآتى :

جدول(٢-٤)

الموقـــــــع	مستوى الضوضاء (ديسبل)
مساكن	٢٥ - ٤٥
مخازن	٤٥ - ٦٠
مكاتب	٤٥ - ٧٥
مصانع	٧٥ - ٩٥

عموماً عند تركيب المحولات بالمحطات ، داخل أو خارج مبنى ، فان الضوضاء تعتبر مشكلة فى بعض الأماكن الحساسة مثل المستشفيات ، وفى هذه الحالة يؤخذ فى الاعتبار مستوى الضوضاء المحيط بالمبنى ، الذى سيتم تركيب المحول به ، وذلك من جدول (٢-٤) ، ومستوى الضوضاء للمحول المدونه بمعرفة الصانع والمقاس بأجهزة مقياس الضوضاء الدقيقة ، وعلى هذا الاساس يختار المحول الذى له مستوى ضوضاء اقل من مستوى الضوضاء المحيطة ، ذلك لامكان حجب ضوضاء المحول.

مثال :

عند تركيب محول توزيع فى مصنع قدرة المحرك ١٥٠ ك ف أ له ضوضاء ٥٠ ديسبل ومستوى الضوضاء المحيطة ٨٥ ديسبل ، فى هذه الحالة فان صوت ضوضاء المحول لاتسمع .

بينما عند تركيب نفس المحول فى مبنى سكنى له مستوى ضوضاء محيطة ٣٠ ديسبل فان صوت ضوضاء المحول فى هذه الحالة يكون مرتفعاً ويعتبر مرفوضاً .

فى المبانى ذات الاهمية الخاصة بالنسبة للضوضاء مثل المدرسة أو المستشفى ، يجب أختيار المحول الذى له مستوى ضوضاء أقل من مستوى الضوضاء المحيطة بالمبنى .

جدول (٣-٤) يوضح مستوى الضوضاء المقابلة لقدرات محولات توزيع مختلفة طبقاً للمواصفات القياسية الامريكية (ANSI)

قدرة المحول ك ف أ	مستوى الضوضاء (ديسبل)
حتى ٥	٤٠
٦-٩	٤٠
١٠-٢٥	٤٥
٢٦-٥٠	٤٥
٥١-١٥٠	٥٠
١٥١-٢٢٥	٥٥
٢٢٦-٣٠٠	٥٥
٣٠١-٥٠٠	٦٠

جدول (٤-٤) يوضح مقارنة بين مستوى الضوضاء لمحولات التوزيع المغمورة فى الزيت ، والمحولات الجافة طبقاً للمواصفات الالمانية DIN

قدرة المحول ك . ف . أ	مستوى الضوضاء (ديسبل) محولات مغمورة فى الزيت	مستوى الضوضاء (ديسبل) محولات جافة
٣٠-٥٠	٤٥	٥٤
٧٥-١٠٠	٤٦	٥٦
١٢٥-١٦٠	٤٧	٥٨
٢٠٠-٢٥٠	٤٨	٦٠
٣١٥-٤٠٠	٥٠	٦٢
٥٠٠-٦٣٠	٥٢	٦٤
٨٠٠-١٠٠٠	٥٤	-
١٢٥٠-١٦٠٠	٥٦	-

جدول (٥-٤) يوضح مستوى الضوضاء المسموح به لمحولات القدرة طبقاً للمواصفات الالمانية *DIN*

قدرة المحول م . ف . أ .	مستوى الضوضاء (ديسبل)
٢	٥٢
٢,٥	٥٣
٣,١٥	٥٥
٤	٥٦
٥	٥٧
٦,٣	٥٩
٨	٦٠
١٠	٦٢
١٢,٥	٦٣
١٦	٦٥
٢٠	٦٦
٢٥	٦٧
٣١,٥	٦٩
٤٠	٧٠

تخفيض مستوى الضوضاء

عند تركيب عدد ٢ محول متجاورين لهما نفس مستوى الضوضاء فان مستوى الضوضاء الناتج عنهما يكون أعلى ٣ ديسبل عن مستوى الضوضاء لأحدهما . بينما مستوى الضوضاء الناتج من تركيب عدد ٣ محولات مماثلة ، يكون أعلى ٤,٨ ديسبل عن مستوى الضوضاء لأحدهم.مثلاً اذا ركبت عدد ٣ محولات فى صالة واحدة ، وكان كل محول ٥٠ ك . ف . أ . – ٤٥ ديسبل ، فان مستوى الضوضاء الناتجة عنهم تصبح ٤٩,٨ ديسبل ، وليس ١٣٥ ديسبل

يجب مراعاة الآتى للتخفيض مستوى الضوضاء

١ - عند اختيار محول يجب مراعاة القيم المسموح بها لمستوى الضوضاء ، طبقاً للمواصفات القياسية ، وأن يكون مستوى الضوضاء للمحول أقل عن مستوى الضوضاء المحيطة بالموقع الذى سيتم تركيب المحول به .

٢ - يجب تركيب المـ . ، بعيداً بقدر الامكان عن الأماكن التى تكون الضوضاء فيها مكروهة ومرفوضة .

٣ - يجب أن تركب المحولات بالأماكن التى لا تحدث تكبيراً لصوت الضوضاء،أو انعكاساً للصوت ، عن طريق الحوائط والأسقف .

ويفضل أن تكون الحوائط والأسقف مغطاه بألواح ماصة للصوت أو فيبر جلاس ، وهى التى تمتص الصوت فى التوافقيات العالية للمحول ، والتى يكون تأثيرها بسيطاً للمركبه الرئيسية للطنين المتولد بالمحول .

٤ - يثبت المحول بما يعرف بالتثبيت المرن *(Flexible Mounting)* ، بحيث لاتنتقل الاهتزازات الميكانيكية الى أجزاء المبنى .

References

(1) FOSTER

This article by C.P Burns of Foster Transformer Ltd Appeared in the Journal " Electrical Times ".

(2) ASEA

Pamphlet KT 09 - 114 E Edition 1

(3) J & P

Transformer Book

A C Franklin

D P Franklin

Eleventh Edition, Butterworths 1985

(٤) تكنولوجيا المواد الكهربائية

دكتور مهندس / محمد محمود نور

(5) International Electrotechnical Commission Power Transformer

IEC 76 - 1 / 1976 General

IEC 76 - 2 / 1976 Temperature Rise

IEC 76 - 3 / 1976 Insulation Levels and Dielectric tests

IEC 76 -4 / 1976 Tappings And Connections

IEC 76 - 5 / 1976 Ability to Withstand Short Circuit

(6) International Electrotechnical Commission

Interpretation Of The Analysis of Gases In Transformers And Other

Oil- Filled Electrical Equipment In Service IEC 599 - 1978 .

(7) Dissolved Gas Analysis By Gas Chromatography. A Modern Tool To Delect Incipient Faults In Power Transformer .

Post Box No. 1242

Bangalore - 560012

(8) Assembly Of Power Transformer

E. Minsker

V. Anshin

Mir Publishers Moscow .

(9) Electrical Transmission and Distribution Reference Book

By General Station Engineers of the Westinghouse Electric Corporation

(10) Transformers Principles and Applications

Second Edition

Kenneth L. Gebert

Kenneth R. Edwards

American Technical Publishers, Inc.

(11) Large Power Transformers Shell Form, Form-Fit Construction Jeumont Schneider .

(12) Westinghouse Electric Corporation

Sharon Plant - Transformer

Instructions

Determination of Dryness and Methods of Drying out

Superselds I.L. 47 - 600 - 10C July 1960

(13) Alternating Current Machines

M G. say

Great Britain .

١٤ – تجارب معملية من معهد تدريب جنوب القاهرة للمهندسين

التابع لهيئة كهرباء مصر

(15) ASEA Journal 1979 : 5 PP 101-110

Milestones in The History Of ASEA Power Transformers

Paul Hangard, Power Products and Systems Division .

(16) SIEMENS Short Circuit Current in Three Phase System.

(17) Transmission and Distribution

Reference Book " W "

١٨ – مذكرات د. يحيى غزالة عن التأريض

١٩ – المحولات الكهربية

وآلات التيار المستمر

دكتور مهندس / محمد احمد قمر

فهـــــرس

للمؤلفة :

١ - المكثفات و تحسين معامل القدرة .

٢ - المحولات الكهربائية - الجزء الأول .

٣ - المحولات الكهربائية - الجزء الثانى .

٤ - الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الأول .

٥ - التوافقيات فى الشبكات الكهربائية .

٦ - جودة التغذية الكهربائية .

٧ - الإضاءة و توفير الطاقة .

٨ - الوقاية فى الشبكات الكهربائية - الجزء الثانى .

٩ - إدارة طلب الطاقة و فرص ترشيد استخدام الطاقة فى المنشآت الصناعية والتجارية - الجزء الأول .

١٠ - البيئة - الطاقة و غازات الإحتباس الحرارى .

١١ - إدارة طلب الطاقة - الجزء الثانى .

١٢ - اضطرابات جودة التغذية الكهربائية .

١٣ - ارشادات لوسائل التوعية لترشيد استخدام الطاقة .

١٤ - ٧٥ فرصة لترشيد استخدام الطاقة .

١٥ - الفقد فى الطاقة الكهربائية .

١٦ - مؤشرات إعتمادية الأنظمة الكهربائية .

رقم الإيداع
١٩٩١/٩٢٥١

دار الجامعيين للطباعة و التجليد
ت: ٠٣/٤٨٦٢٠٠٤